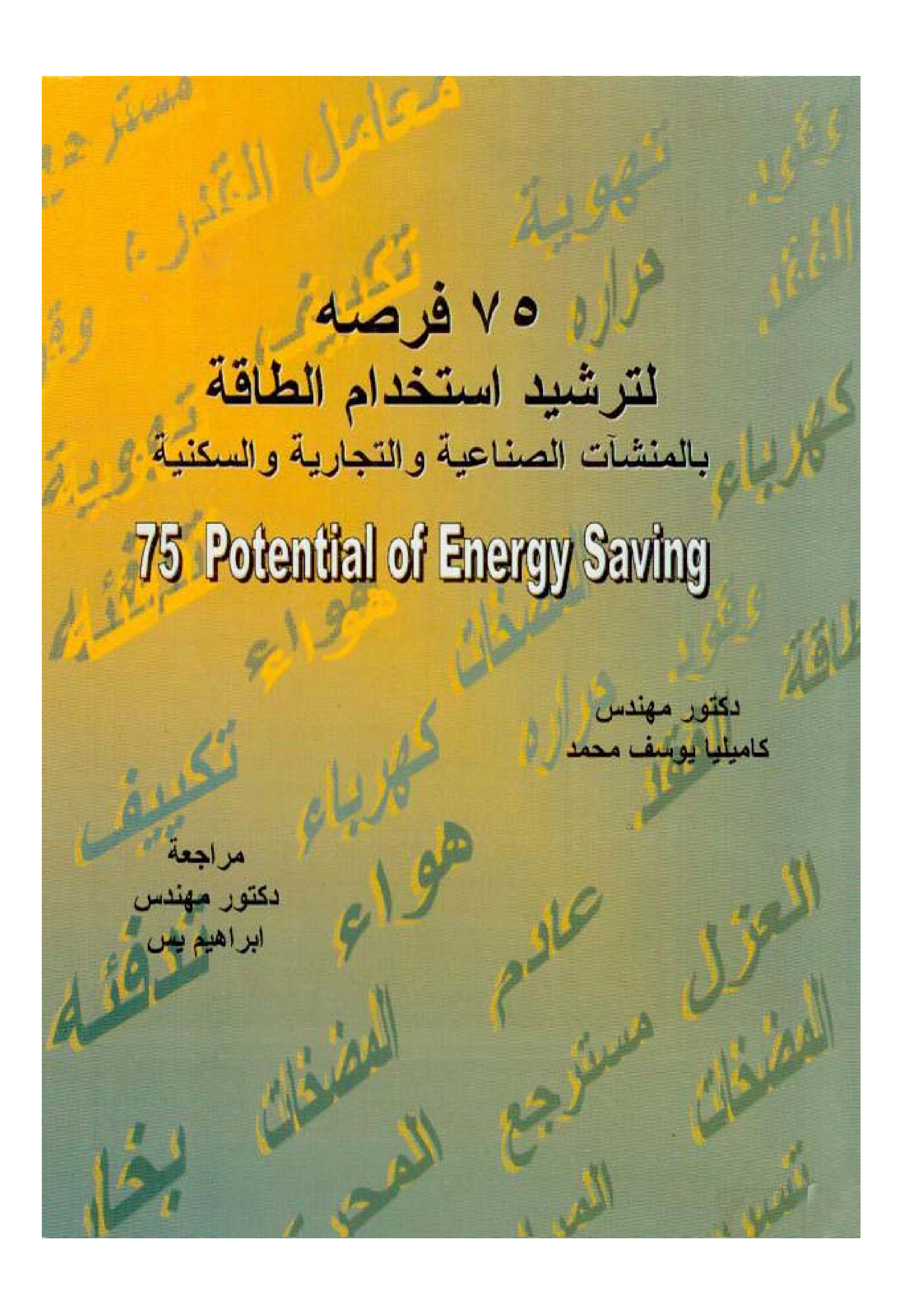


٧٥ فرصه
لترشيد استخدام الطاقة
بالمنشآت الصناعية والتجارية والسكنية
75 Potential of Energy Saving
دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد
مراجعة
دكتور مهندس
ابراهيم يس

٧٥ فرصه
لترشيد استخدام الطاقة
بالمنشآت الصناعية والتجارية والسكنية

75 Potential of Energy Saving

دكتور مهندس
كاميليا يوسف محمد

مراجعة
دكتور مهندس
ابراهيم يس

تصميم الغلاف
مهندس / أحمد طه هاشم

قال رسول الله ﷺ :

" إن الله وملائكته وأهل السماء وأهل الأرض حتى النملة في

جحرها حتى الحيتان في البحر ليصلون على معلم الناس بالخير "

صدق رسول الله ﷺ

بســـم الله الرحمـــن الرحيـــم

مقـــــدمــة

تعتبر الكهرباء العنصر الأساسي للتنمية وعماد التقدم في جميع المجـــالات ويقـــاس تقـــدم الشعوب بمقدار ما يستهلكه الفرد سنويا مـــن الطـــاقة الكـــهربائية (ك.و.ساعة) . ففـــي حـــين كـــان معـــدل استهلاك الفـــرد بجمهورية مصر العربية لا يتجاوز ٥٠ ك.و.ســـاعة سنويا عام ١٩٥٢ ازداد ليصل إلى ١٣٥٠ ك.و.ساعة عام ٢٠٠١ / ٢٠٠٢ نتيجة التطور الهائل في أنماط الاستهلاك والتقدم الصناعي والميكنة الزراعية خلال السنوات السابقة وتـــم استيفاء متطلبات هذه الطفرة بالجهود المخلصة التي يبذلها جميع العاملين بقطاع الكـــهرباء لتلبية تلك الاحتياجات وتحسين الخدمة الكهربائية لجمهور المستهلكين في سائر القطاعات .
وحتى يمكن توفير هذا المقدار من الاستهلاك الفـــردي رغـــم الزيـــادة الســـكانية العاليـــة ولمواجهة تغطية الاحتياجات الحالية والزيادة في التطور الإنمائي في جميع المجالات كـــان لابد من بناء محطات التوليد العملاقة وتنفيذ شبكات النقل والتوزيع بحيث يتوافر المصـــدر الكهربي لكافة المشروعات قبل البدء في تنفيذها .
ومن المعروف أن محطات التوليد وشبكات النقل والتوزيع تتكلف استثمارات كبيرة يكـــون معظمها من العملات الأجنبية لتغطية التكنولوجيا الحديثة في هذا المجال .
لذلك كان الترشيد هو من أهم الطرق لتخفيض بعضا من هذه الاســـتثمارات دون المســـاس بالاحتياجات المناسبة للفرد والمحافظة على الإمكانات المحلية المتاحة في مجال الطاقة .
والترشيد له مجالات متعددة منها ما يتعلق بالاستغلال الأمثل للطاقة بـــالتصميم المناسـب وتشغيل الشبكات الكهربائية اقتصاديا بالإضافة إلى تحسين نمط الاستهلاك .
وبتطبيق فرص ترشيد استخدام الطاقة بمحطات التوليد وبالقطاعات الصناعيـــة والتجاريـــة والسكنية يمكن تحقيق وفر ملموس في الطاقة الكهربائية والطاقة الحرارية والذي يحـــدث أثرا على الوفر في الوقود الاحفورى والغاز الطبيعي والمساهمة في الحفـــاظ علـــى البيئـــة بتخفيض غازات الاحتباس الحراري .

وقد اهتمت وزارة الكهرباء والطاقة بتنفيذ العديد من مشروعات ترشيد استخدام الطاقة وإدارة الأحمال والتي كان لها الأثر المناسب في :

- تخفيض قيمة استهلاك الكهرباء للمشترك
- تخفيض تكلفة إنتاج الطاقة الكهربائية وتخفيض تكاليف التشغيل والصيانة
- الاستخدام الاقتصادي للوقود
- المساهمة في الحفاظ على البيئة
- الاستخدام الأمثل لمكونات الشبكة الكهربائية

كذلك اهتمت وزارة الكهرباء والطاقة بنشر التوعية وغرس مفاهيم ترشيد استخدام الطاقة لدى المواطنين و بالمنشآت الصناعية والتجارية .. وذلك عن طريق إصدار المطبوعات والنشرات واللوحات الإرشادية والملصقات والإعلانات ..

وجاء هذا الكتاب :

"٧٥ فرصة لترشيد استخدام الطاقة بالمنشآت الصناعية والتجارية والسكنية "

ليساعد مستهلكي الكهرباء في تحديد فرص ترشيد استخدام الطاقة بمنشآتهم ..

أرجو أن يحقق هذا الكتاب المنفعة لأبنائي المهندسين وأن يستفاد به مستهلكي الكهرباء بجمهورية مصر العربية .

القاهرة – إبريل ٢٠٠٣

رئيس مجلس إدارة
الشركة القابضة لكهرباء مصر
د.م / محمد محمد عوض

بســم الله الرحمـــن الرحيـــم

مقـــدمة

هـــذا الكتـــاب

" ٧٥ فرصة لترشيد استخدام الطاقة بالمنشآت الصناعية والتجارية والسكنية " هو حلقة في سلسلة الكتب العلمية الصادرة باللغة العربية بلغة فنية مبسطة والتي آلت شركة الإسكندرية لتوزيع الكهرباء على نفسها أن تساهم بها في الجهود الجادة للدولة التي تبذل فـــي ســبيل تعريب العلوم الهندسية ..

ويعرض الكتاب فرص ترشيد استخدام الطاقة باستخدام معادلات رياضية نحصل منها علـــى كمية وقيمة الوفر في الطاقة عند تطبيقها على :

نظــم الوقـــود – نظم الغلايـــات – استعـــادة غازات العادم – إصلاح وتحســـين شـبكات البخار – استعـــادة الحـــرارة – نظـــم التدفئـــة والتهويـــة – تقليـــص حـــرارة عمليـــات الإنتاج – الإضاءة – طلب الطاقة ومعامل القدرة – نظم المحركات الكهربائية – ضواغـــط الهواء – المضخات – المـــراوح .

وقد كانت الدعوة الدائمة للسيد **د.م / حسن يونس وزير الكهرباء والطاقة** لترشـــيد استخدام الطاقة بقطاعات الكهرباء والطاقة ، بداية بالمباني الإدارية وحتى محطـــات توليـــد الكهرباء ، وتنفيذ مشروعات متعددة بالقطاعات الصناعية والتجارية لترشيد استخدام الطاقة ، وقرار سيادته بتشكيل لجنة لتنفيذ مشروع لترشيد استخدام الكهرباء في المباني الحكومية وما في حكمها .. وذلك بغرض تخفيف العبء عن ميزانية الدولة وترشـــيد حمـــل الشـــبكة الكهربائية .. كل ذلك كان دافعا لإصدار هذا الكتاب .

لا يفوتنى أن أتقدم بالشكر والعرفان للسيد د.م / محمد محمد عوض رئيـــس مجلـــس إدارة الشركة القابضة لكهرباء مصر على مقدمة الكتاب ذات الفائدة والمعاني الغزيرة ولتشـــجيعه الدائم لنا على معرفة الجديد في العلم .

ولقد وافق السيد المهندس / إبراهيم عطية رئيس مجلس الإدارة والعضو المنتدب لشـــركة الإسكندرية لتوزيع الكهرباء على طباعة الكتاب على نفقة الشـــركة لمســـاعدة مســـتهلكي الكهرباء والطاقة على تحديد فرص ترشيد استخدام الطاقة بمنشـــآتهم .. وكمـــادة علميـــة للمهندسين والفنيين والعاملين في هذا المجال .. لذا أتقدم لسيادته بالشكر علـــى اهتمامـــه بالعلم والبحث العلمي .

وقد قام بمراجعة هذا الكتاب السيد د.م / إبراهيم يسن المدير القومي لمشروع تحسين كفاءة استخدام الطاقة والحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري .. والذي بذل مجهود يشكر عليه وساهم في إخراج هذا الكتاب في هذه الصورة .

وقامت دار الجامعيين للطباعة والنشر بجهد جيد فى سبيل إخراج الكتاب على هذا النحو

وأسال الله سبحانه وتعالى أن يتقبل منى هذا العمل المتواضع

واصلى واسلم وابارك على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه تسليما كبير

الإسكندرية في إبريل ٢٠٠٣

د.م / كاميليا يوسف

الفهرس

الصفحة

الباب الأول
فرص ترشيد استخدام الطاقة

يعتبر ترشيد استخدام الطاقة اكثر الطرق المؤثرة في خفض تكلفة توريد الطاقة الكهربائيـة والذي يساهم ويشارك في تطوير البلدان المطبق بها برامج ترشيد استخدام الطاقة وتظــهر أثاره الإيجابية في التأثير على البيئة .

ماذا يعنى ترشيد استخدام الطاقة ؟

- منع أو تخفيض الطاقة المفقودة وهى أولى مراحل وفر الطاقة .
- نضع نصب أعينا : يجب استخـدام الكهرباء عند الحاجة الحقيقية ، والبحث دائما عن أفضل أداء بأقل استهلاك .

ماذا يعنى عدم ترشيد استخدام الطاقة ؟

- ضياع الأمان والحياة المريحة والجيدة والتي تعتمد على الطاقة الكهربائية .
- انخفاض الإنتاج أو الإنتاجية بالقطاعات الصناعية والتجارية والزراعية .

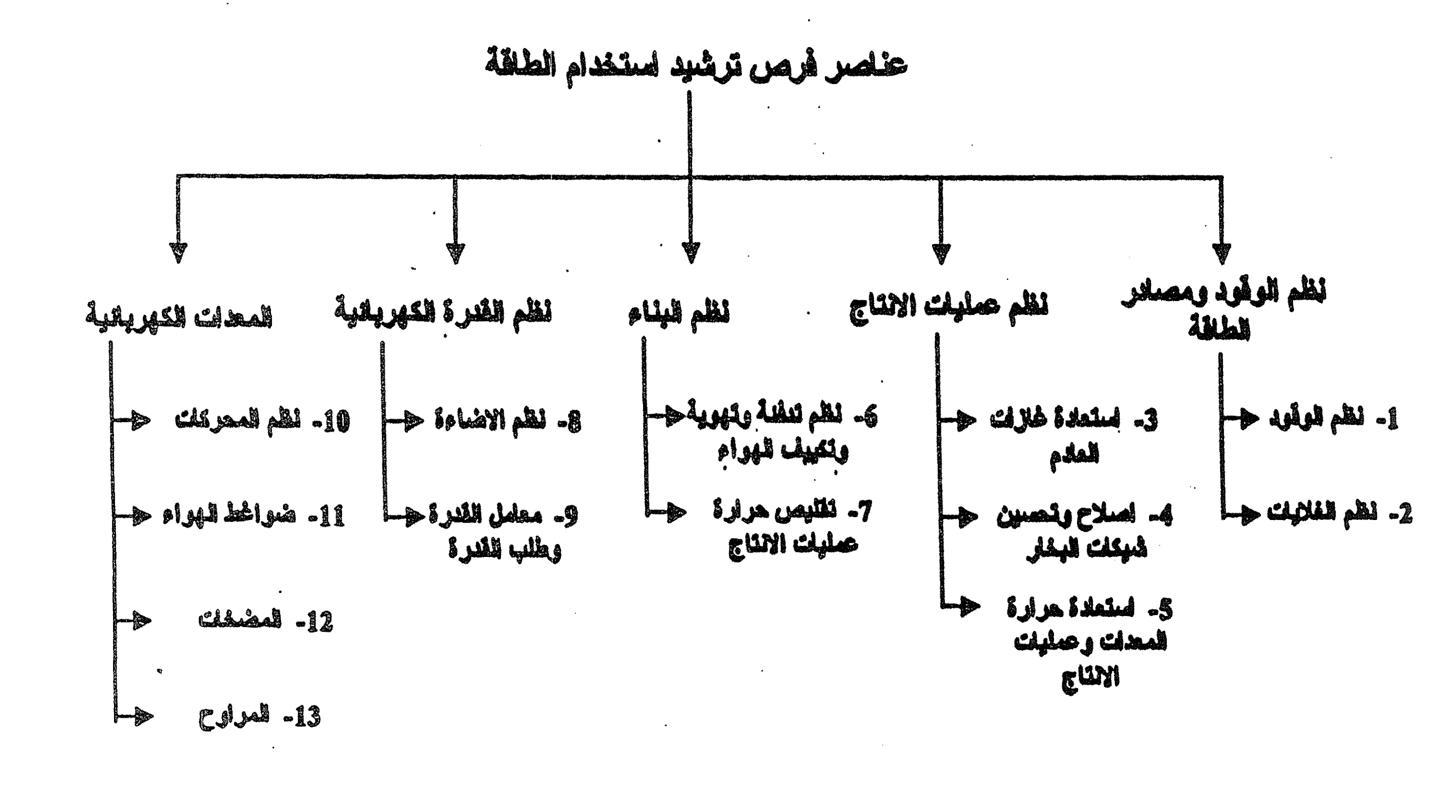
لماذا الاحتياج لترشيد استخدام الطاقة ؟

- تخفيض التكاليف للمستهلك .
- تقليل الآثار البيئية .
- الاستفادة من وفر الطاقة لتغذية المشروعات الجديدة والتوسعات .
- تأجيل الاستثمارات اللازمة لإنشاء محطات توليد الكهرباء وشبكات النقل والتوزيع .

تصنيف فرص ترشيد استخدام الطاقة

تصنيف فرص ترشيد استخدام الطاقة كما في شكل (1-1) تبعا للنظم الآتية :

- نظم الوقود ومصادر الطاقة
- نظم عمليات الإنتاج
- نظم البناء
- نظم القدرة الكهربائية
- المعدات الكهربائية



شكل (1-1) مخطط تصنيف عناصر فرص ترشيد استخدام الطاقة

وهذا ما سنتعرض له بالإيضاح في الأبواب التالية .

كذلك يمكن تصنيف فرص ترشيد استخدام الطاقة تبعا لفترة الاسترداد للاستثمارات المطلوبة لأجل ذلك (payback period) والتي تعرف كالآتي

فترة الاسترداد = تكاليف تطبيقات فرص الترشيد (الاستثمارات)
قيمة الوفر السنوي

وتصنف فترة الاسترداد إلى :

- قصيرة المدى(short term)
- متوسطة المدى (Medium term)
- طويلة المدى (High term)

يوضح جدول (1-1) الوفر النموذجي للطاقة تبعا لفترة الاسترداد

جدول (1-1) الوفر النموذجي للطاقة

فترة الاسترداد	نسبة الوفر %
قصير المدى (بدون تكلفة أو بتكلفة قليلة)	5%-10 %
متوسط المدى (برامج مخصصة ،ثلاثة سنوات واكثر)	25 %-35 %
طويل المدى	40 %-50 %

يبين جدول (1-2) تصنيف فرص ترشيد استخدام الطاقة من حيث فترة الاسترداد

ويبين جدول (1-3) أمثلة للفرص قصيرة المدى لترشيد استخدام الطاقة بالمنشآت الصناعية

ويوضح جدول (1-4) أمثلة للفرص متوسطة المدى لترشيد استخدام الطاقة بالمنشآت الصناعية

بينما يوضح جدول (1-5) أمثلة للفرص طويلة المدى لترشيد استخدام الطاقة بالمنشآت الصناعية

جدول (2-1) تصنيف فرص ترشيد استخدام الطاقة من حيث فترة الاسترداد

فترة الاسترداد	الوصف	ملاحظات
قصيرة المدى (Short term)	عمليات النظافة والصيانة الدورية ، تستخدم أدوات فقط عند الضرورة ، ونظم تحكم بسيطة توجد ثلاث مراحل لاختيار فرص الترشيد قصيرة المدى : • قياس استهلاك الطاقة • تحديد طرق تحسين كفاءة الطاقة ، وتحديد الأهداف • زيادة التوعية باستهلاك الطاقة ، وتجهيز مجموعة العمل لتحقيق الأهداف	يمكن ان تصل نسبة الو إلى 10%
متوسطة المدى (Medium term)	تحتاج هذه الفرصة إلى متوسط مدى من 3-10 سنوات بالإضافة إلى الاحتياج إلى استثمارات رأسماليه كبيرة وتتم بإنشاءات موجودة فعليا ولعمليات صناعية محددة .	يمكن التداخل بين متوسط المدى وطويل المدى
طويلة المدى (High term)	تتم هذه الفرص بإضافة معدات جديدة كجزء من إنشاءات مصنع أو منشأة جديدة والتى اغلب توصياتها تعتمد على استخدام التكنولوجيات الحديثة وما يلزم ذلك من تكاليف استثمارية. تحتاج هذه الفرص إلى مدى من 10-30 سنة	

جدول (3-1) الفرص قصيرة المدى لترشيد استخدام الطاقة بالمنشآت الصناعية

المجال	فرص ترشيد استخدام الطاقة
الإضاءة (Lighting)	ـ فصل الإضاءة عن الأماكن غير المشغولة ـ استخدام مفاتيح الإضاءة ذات اللاصقات (Label light switches) ـ تركيز الإضاءة على مكان الاحتياج ـ استغلال الإضاءة الطبيعية بصورة جيدة ـ استخدام مناور بالمباني ـ تنظيف دوري للمبات ـ استخدام تحكمات لنظم الإضاءة ـ استخدام اللمبات الفلورسنت الأنبوبية الرفيعة والتي تعمل بمحولات إلكترونية ، اللمبات المدمجة الموفرة للطاقة ....
الغلايات (Boilers)	ـ إجراء الصيانة الدورية ـ فصل الغلايات فى حالة عدم الاحتياج ـ التأكد من العزل الجيد للغلاية (عزل الأجزاء ذات العزل غير الجيد) ـ التأكد من العزل الجيد لمواسير توزيع البخار
المحركات (Motors)	ـ تشغل المروحة ـ فصل النقالات (conveyors) والطلمبات عند عدم الاحتياج ـ عند استبدال المحركات ، استخدام الأنواع ذات الكفاءة العالية

تابع جدول (3-1)

ضواغط الهواء (Compressed air)	ـ مراجعة الرباطات والوصلات لمنع تسريب الهواء ـ إنتاج الضغوط المنخفضة المسموحة حسب الاحتياج ـ استخدام الهواء عالى الجودة فى المساحات الهامة فقط ـ التخلص من المواسير غير الضرورية
المبـــــردات (Refrigerators)	ـ مراجعة ضغط العلو (head pressure) ـ منع التسريب ـ استخدام متحكمات جيدة ـ صيانة المكثف والبخر
تدفئة المباني (Heating for buildings)	ـ ضبط درجة الحرارة عند 19 °C ـ المحافظة على إغلاق الأبواب والشبابيك عند تشغيل نظام التدفئة ـ منع التيارات الهوائية ـ استخدام الثرموستات المناسب (أو مفاتيح تحكم متزامنة) ـ عزل مواسير التوزيع ـ استخدام الأكواد الخاصة بكفاءة الطاقة في المباني الجديدة

جدول (4-1) الفرص متوسطة المدى لترشيد استخدام الطاقة بالمنشآت الصناعية

النشاط	فرص ترشيد استخدام الطاقة
عام (General)	ـ نظم التوليد المشترك Combined Heat and power (CHP) systems ـ نظم التحكم المحسنة ـ مديرات السرعة المتغيرة ـ تحسين محطة الغلاية (تصميم جيد للمكثف مثلا) كذلك تحسين توزيع البخار (بالعزل الجيد) ـ تحسين نظم التبريد (مثلا طلمبات التسخين / الامتصاص) ـ استعادة الحرارة المفقودة
صناعة الاغذية والمشروبات (Food and Drink)	ـ نفس فرص ترشيد استخدام الطاقة المذكورة فى بند "عام"
المعادن (Metals)	ـ تحسين الولاعات (burners) والأفران ـ جدوله دورات المعالجة الحرارية (heat treatment cycles)
السيراميك (Ceramics & Minerals)	ـ تحسين الولاعات ، الإشعال بالميكروويف ـ طوب حرارى خفيف الوزن ـ التجفيف بدون هواء ـ عملية التكرير بالموجات فوق الصوتية ـ استخدم الوقود البديل (الغاز الطبيعي)

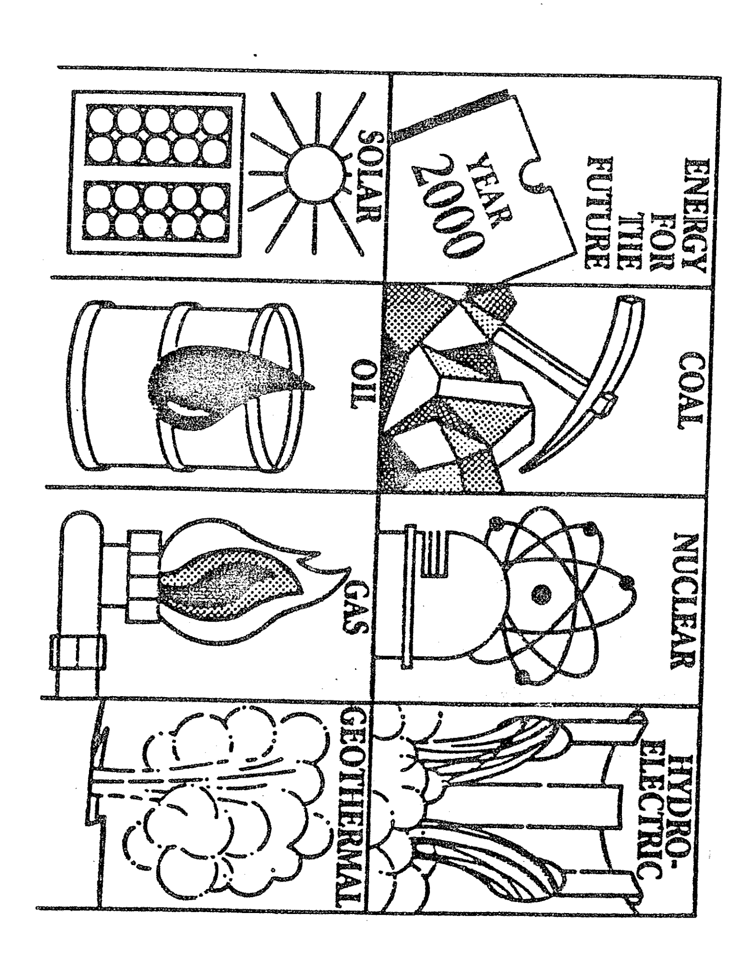
تابع جدول (4-1)

الكيماويات (Chemicals)	ـ تحسين العمليات ـ تحسين تكنولوجيات التقطير (distillation) ، وعزل الغشاء (membrane) فى بعض التطبيقات ـ مبادلات حرارية مدمجة (Compact heat exchangers)
الورق ـ النسيج (Papers & Textiles)	ـ خفض الرطوبة فى مراحل العجينة وذلك لتخفيض الطاقة المستهلكة فى التجفيف ـ التحكم فى الرطوبة
الهندسي والاخرى (Engineering & others)	ـ تحسين عمليات التسخين (مثلا استخدام سخانات الأشعة فوق الحمراء infrared لعلاج الدهانات) ـ نفس فرص ترشيد استخدام الطاقة المذكورة فى بند " عام "



جدول (5-1) الفرص طويلة المدى لترشيد استخدام الطاقة بالمنشآت الصناعية

النشاط	فرص ترشيد استخدام الطاقة
عام (General)	ـ استخدام نظم التوليد المشترك (CHP) ذات القدرات العالية . ـ تجميع العمليات ، استخدام الحرارة من عملية إلى أخرى بالموقع ـ تحكم الحاسب الآلي التكاملي (integrated computer control) والذي يسمح بترابط مراحل عمليات مختلفة
صناعات درجات الحرارة العالية High temperature) industries) مثل المعادن والسيراميك والزجاج والأسمنت	ـ اتصال ساخن ، يسمح للمعدن ان يكون على شكل قضيب مباشرة بعد عملية الصب بدون الاحتياج لعمليتي التبريد واعادة التسخين ـ التخفيض المباشر للحديد يساعد فى استخدام بدائل للافران العالية blast furnaces ـ مسارات عمليات بديلة (للأسمنت : الرطب / الجاف & للسيراميك قمين مستمر وقمين الدفعات (batch kiln)
صناعات درجات الحرارة المنخفضة Low temperature) industries) مثل صناعة الكيماويات والاغذية والمشروبات والورق والنسيج والهندسية...	ـ تصميم العمليات (مثلا عمليات دفعات / مستمرة) ـ يمكن للفاصل الغشائي (membrane) ان يخفض الطاقة المستخدمة فى عمليات التقطير (distillation) ـ تقوية العمليات ، والمستخدم فى المصانع الأصغر ، وبمعدل انتاج سريع له مجالات اعلى و مفقودات حرارية منخفضة


ENERGY FOR THE FUTURE
YEAR 2000
COAL
NUCLEAR
HYDRO-ELECTRIC
SOLAR
OIL
GAS
GEOTHERMAL

الباب الثاني

نظم الوقود

وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Fuel Systems
And Potential Energy Saving

تمثل نظـم الوقود المصدر الرئيسي للطاقه بالمنشآت للحصول على نظم العمليات و التبريد و التدفئة للوصول إلى مثالية لهذه النظم فيجب تخفيض الوقود المستخدم والذي يمثل تكلفة استثمارات عالية

من فرص ترشيد الطاقة فى نظم الوقود :

1- التحويل من نوع وقود الى نوع آخر **(Convert from one fuel to another)**

2- إعادة جدولة وترتيب نظم التدفئة المتعددة
(Reschedule and rearrange multiple source heating systems)

3- استبدال البخار المشترى بآخر ينتج بالمبنى أو بمصدر طاقة آخر
(Replace purchased steam with steam generated in - house or other energy source)

4- استبدال عمليات أو نظم تدفئة الحيز والتي تعمل بالكهرباء،بمعدات احتراق الوقود الاحفورى
(Replace electrically operated process or space heating system with fossil fuel combustion equipment)

5- استبدال سخان المياه الكهربي الخدمى أو المنزلي بـــآخر يعمـــل بـــالوقود الاحفـــورى
(Replace electrically operated domestic or service water heater with one using fossil fuel)

6- استخدام مولد يعمل بالوقود الاحفورى خلال فترات ذروة الحمل بدلا من الكهرباء المشتراة
(Use fossil fuel powered generator to substitute for purchased electricity during peak demand periods)

7- التوسع فى استخدام الأجهزة الكهربية(في حالة انخفاض سعر الكهرباء عن سعر الوقود)
(Increased use of electrical equipment)

8- تخفيض التسعيرة **(Reduce rates)**

9- شراء الغاز **(Purchase gas)**

10-استخدام المصادر المشتركة لغاز البروبان **(Use common propane source)**

وفيما يلي توضيح لكل فرصة من فرص ترشيد استخدام الطاقة

1-التحويل من نوع وقود إلى نوع آخر

تعتمد هذه الفرصة على نوع الوقود المتوافر بكل بلـــد وعلـــى الســـعر .. ومـــن الناحيـــة الاقتصادية يتم التفكير فى حرق الوقود الأرخص ..

يخضع وفر الطاقة السنوي للمعادلة

$$AES = AEB\left[\frac{1}{\eta_c} - \frac{1}{\eta_a}\right] \qquad [1]$$

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

AEB = actual energy used in building / year , Btu/yr

= الطاقة الفعلية المستهلكة بالمبنى سنويا (بوحدة Btu/yr)

ونحصل عليها من فواتير الاستهلاك

η_c = current system efficiency

= الكفاءة الحالية للنظام

η_a = anticipated system efficiency with new fuel

= كفاءة النظام المتوقع ، باستخدام الوقود الجديد

وتحسب قيمة الوفر السنوي من المعادلة

$$ACS = CYCF - AYCF = CYCF - \left\{\frac{AEB}{\eta_a} * AUCF\right\} \qquad [2]$$

حيث :

ACS = Annual cost saving

= قيمة الوفر السنوي

CYCF = Current yearly cost for fuel ,$/yr

= التكلفة الحالية للوقود سنويا (دولار / سنة)

AYCF = anticipated yearly cost for fuel , \$./ y

التكلفة المتوقعة للوقود سنويا (دولار / السنة) =

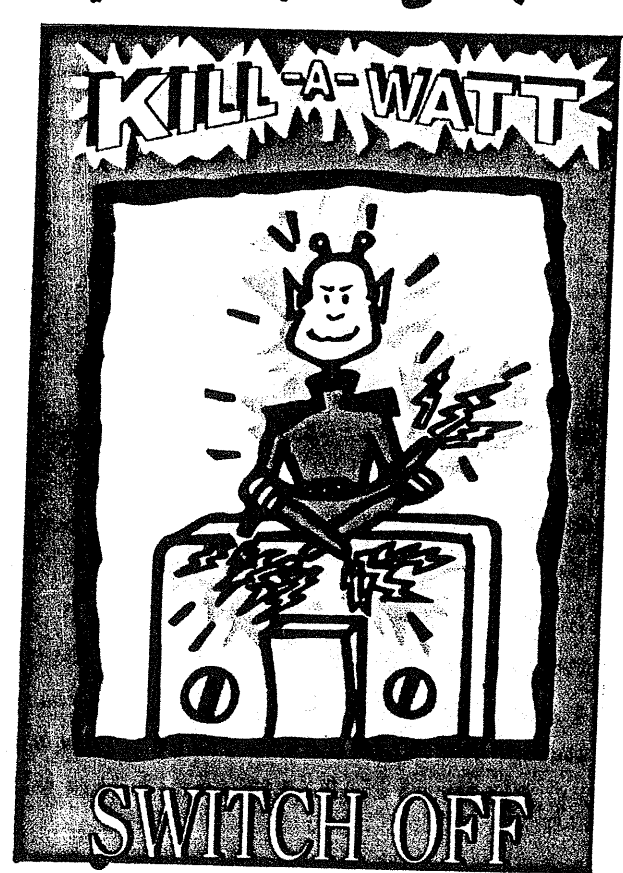
AUCF = anticipated unit cost for new fuel , \$./ Btu

تكلفة الوحدة المتوقعة للوقود الجديد (Btu / دولار) =

Btu = British thermal unit

الوحدة الحرارية طبقا للنظام البريطاني

تغلب على الاستهلاك العالي



2- إعادة جدولة وترتيب نظم التدفئة المتعددة

وفي حالة استخدام وقود للحرق أقل تكلفة وإيقاف الغلايات الزائدة عن الحاجة عندئذ يمكن تخفيض تكاليف التشغيل .

وتوضح المعادلات التالية كيفية حساب هذا الوفر

$$AES = ER * LF * HY * \left[\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2}\right] \qquad [3]$$

$$ACS = ER * LF * HY * \left[\frac{EC1}{\eta_1} - \frac{EC2}{\eta_2}\right] \qquad [4$$

حيث

AES = annual energy saving
 = وفر الطاقة السنوى

ACS = annual cost saving
 = قيمة الوفر السنوى

ER = energy rating of boiler to be disconnected, Btu / hr
 = الطاقة المقننة للغلاية التى سيتم فصلها (بوحدة Btu لكل ساعة)

LF = Load factor = عامل الحمل

HY = operating hours per year
 = ساعات التشغيل فى السنة

η_1 = efficiency of boiler to be disconnected
 = كفاءة الغلاية التى سيتم فصلها

η_2 = efficiency of boiler to be used in it's place = كفاءة الغلاية البديلة

EC1 = average cost of fuel for boiler to be disconnected ($/ Btu)
 = التكلفة المتوسطة لوقود الغلاية التى سيتم فصلها (Btu/ دولار)

EC2 = average cost of fuel for boiler to be used in it's place ($/ But
 = التكلفة المتوسطة لوقود الغلاية البديلة (Btu/ دولار)

3- استبدال البخار المشترى بآخر ينتج بالمبنى أو بمصدر طاقة آخر

في بعض البلدان يتم توزيع البخار وبيعه من خلال شبكات توزيع خاصة بذلك حيث يستخدم هذا البخار لأغراض مختلفة بالمباني .توصى هذه الفرصة ان ينتج البخار ذاتيا لكل مبنى أو استبدال الوقود المستخدم بآخر أقل تكلفة .

وفي هذه الحالة يتم حساب قيمة الوفر السنوي طبقا للمعادلة التالية :

$$ACS = LBS * LH * LF * \left[SC - \frac{FC}{\eta} \right] \qquad [5]$$

حيث

ACS = annual cost savings

= قيمة الوفر السنوى

LBS = pounds of steam consumed / year , Ib /yr

= الاستهلاك السنوى للبخار بوحدة باوند / سنة

LH = latent heat of steam , But / Ib (at delivery pressure)

= الحرارة الكامنة للبخار (بوحدة Btu / Ib) (ضبط ضغط التوزيع)

نحصل عليها من ملحق A جدول (1-A) خصائص الحرارة الديناميكية للبخار المشبع(Thermo-table)

LF = load factor = (عامل الحمل (يؤخذ واحد صحيح الا إذا تغير بخار الطلب

SC = average steam cost , $/ Btu

= (التكلفة المتوسطة للبخار (Btu / دولار

FC = average fuel cost , $/ Btu

= (التكلفة المتوسطة للوقود (Btu / دولار

η = anticipated overall efficiency of the new boiler

= الكفاءة الكلية المتوقعة للغلاية الجديدة

4- استبدال العمليات أو نظم تدفئة الحيز والتي تعمل بالكهرباء بمعدات احتراق الوقود الاحفورى

في حالة توافر الوقود الاحفورى وبقيمة أقل من تكلفة الكهرباء فانه يمكن التوصية بـــهذه الفرصة وذلك تبعا لمعادلة قيمة الوفر السنوي الآتية :

$$ACS = KW * CF * LF * HY * \left[CE - \frac{CF_1}{\eta}\right] \qquad [6]$$

حيث

ACS = annual cost savings
= قيمة الوفر السنوي

KW = kilowatt draw of current equipment, kW
= القدرة المسحوبة للمعدات الحالية(بوحدة ك.و)

CF = conversion factor , kw to But/ hr , 3413
= عامل التحويل من kw الى But/hr (يساوى 3413)

LF = load factor of equipment
= عامل الحمل للمعدات(في حالة عدم تغير الحمل يؤخذ عامل الحمل يساوى الواحد)

HY = operating hours per year
= ساعات التشغيل في السنة

CE = average cost of electricity , $ / But
= التكلفة المتوسطة للكهرباء

CF_1 = average cost of proposed fuel ($ / Btu)
= التكلفة المتوسطة للوقود المقترح

η = anticipated efficiency of fuel burning equipment
= الكفاءة المتوقعة لمعدات احتراق الوقود (مع فرض ان كفاءة المعدات الكهربية تساوى الواحد)

5- استبدال سخان مياه الكهرباء الخدمى أو المـــنزلي بـــآخر يعمـــل بـــالوقود الاحفورى

عند توافر الوقود الاحفورى في بلد ما وبتكلفة اقل من تكلفة الكهرباء فانه يمكن تسخين المياه بالوقود الاحفورى وعندئذ ستنخفض تكلفة التسخين .

تستخدم المعادلة التالية لحساب وفر الطاقة السنوي .

$$AES = HWR * DRY * CY * C\left(T_{out} - T_{in}\right) * \left[CFe - \frac{CF_f}{\eta}\right] \qquad [7]$$

حيث

AES = annual energy saving
= وفر الطاقة السنوي

HWR = daily hot water requirement for plant , gal / day
= المياه الساخنة المطلوبة يوميا للمنشأة (بوحدات جالون / اليوم)

DRY = days per year plant is operated
= عدد أيام التشغيل في السنة بالمنشأة

CONV = conversion factor , 8.345 Ib / gal
= عامل تحويل (يساوى 8. 345 Ib / gal)

C = specific heat of water 1 Btu / Ib - °F
= الحرارة النوعية للمياه (تساوى 1 Btu/ Ib – °F)

T_{in} = enthalpy of inlet water at assumed temperature , °F
= الانثالبى للمياه الداخلة عند درجة الحرارة المقترضة بوحدة °F

Tout = enthalpy of water to service at given temperature , °F
= الانثالبى لمياه الخدمة عند درجة الحرارة المعطاة بوحدة °F

CF_e = cost of electricity , $ / Btu
= تكلفة الكهرباء (بوحدة $ / Btu)

CF_f = cost of fossil fuel , $ /Btu
= تكلفة الوقود الاحفورى (بوحدة $ /Btu)

η = anticipated efficiency of fossil fuel system
= الكفاءة المتوقعة لنظام الوقود الاحفورى

6- استخــدام مولــد يعمــل بالوقــود الاحفورى خلال فترات ذروة الحمل بدلا من الكهرباء المشتراة

تتضمن هذه الفرصة استخدام مولد ديزل (diesel) أو مولد سولار (gasoline) خــلال فــترات ذروة طلب الحمل (Demand)

وتكون قيمة الوفر السنوي عند تطبيق هذه الفرصة تبعا للمعادلة

$$ACS = DS * DC * MY \qquad [8]$$

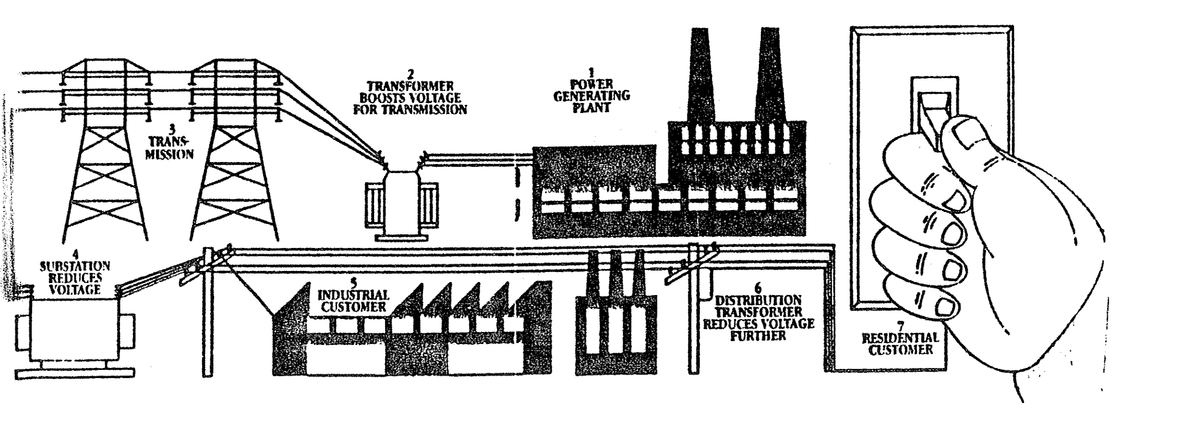
حيث

ACS = annual cost saving
= قيمة الوفر السنوى

DS = demand savings , kw / month
= الوفر في طلب القدرة (بوحدة ك.و/ الشهر)

DC = demand charge , $ / kw
= سعر طلب القدرة (بوحدة دولار / ك. و)

MY = months per year
= عدد الأشهر في السنة



7-التوسع في استخدام الأجهزة الكهربية

في البلدان التي يكون فيها سعر الكهرباء أقل من تكلفه الوقود الاحفوري ، فانه يمكن استخدام بعض المعدات أو الأجهزة التى تعمل بالكهرباء من أمثلة ذلك .

- استبدال منفثات البخار (steam jets) بالمعدات المفرغة (vacuum equipment) المحتوية على محرك كهربي يدير طلمبات مفرغة (vacuum pumps)
- استخدام ملف تسخين بالكهرباء مغمورا في خزان
- استبدال معدات التبريد / التدفئة للحيز أو عمليات حرق الوقود الاحفورى بمعدات تعمل بالكهرباء
- استبدال مياه المرافق المستخدمة للتبريد بمياه تضخ داخليا دوريا من خلال برج التبريد وفيما يلى معادلة قيمة الوفر الناتج عند تطبيق هذه الفرصة :

$$ACS = FFU * \eta * HY\left[\frac{CF}{\eta} - CE\right] \qquad [9]$$

حيث

ACS = annual cost saving

= قيمة الوفر السنوى

FFU = fossil fuel used , Btu / hr

= الوقود الاحفورى المستخدم (بوحدة Btu / hr)

η = efficiency of current fossil fuel burning equipment

= الكفاءة الحالية للمعدات التى تحرق الوقود الاحفورى

HY = operating hours per year

= ساعات التشغيل في السنة

CF = cost of fossil fuel , $ / Btu

= سعر الوقود الاحفورى (بوحدة $ / Btu)

CE = cost of electricity ($ / Btu)

= سعر الكهرباء (بوحدة $ / Btu)

(بفرض أن كفاءة المعدات التي تعمل بالكهرباء تساوى الواحد الصحيح)

8- تخفيض التسعيرة

يتم تجميع عدادات الغاز لتخفيض السعر ، ويعاد جدولة معدل الوقود الاحفورى للحصــــول على اقل سعر ممكن   توضح المعادلة الآتية الوفر الناتج عن تطبيق هذه الفرصة

$$ACS = AGL * (CR - LR) \quad [10]$$

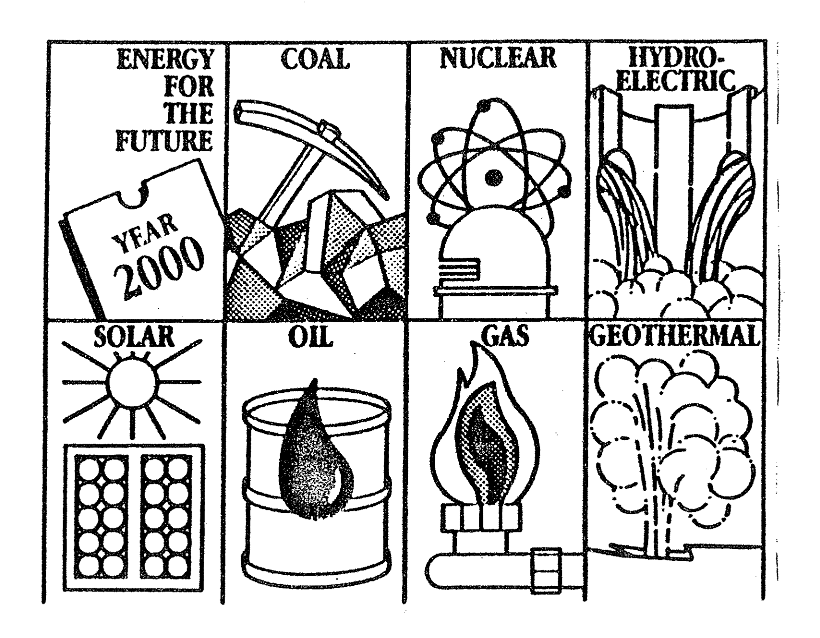
حيث

ACS = annual cost saving = قيمة الوفر السنوي

AGL = units of gas transferred to lower rate
= وحدات الغاز المحول إلى سعر أقل

CR = current rate per unit (from utility bills)
= السعر الحالي لكل وحدة (من فاتورة المرفق)

LR = anticipated lower rate per unit = السعر المخفض المتوقع لكل وحدة



9- شراء الغاز من المصدر

أن شراء الغاز مباشرة من المصدر يمكن ان يقل عن السعر المشترى من المرفق .

المعادلة الآتية توضح الوفر الناتج عند تطبيق هذه الفرصة

$$ACS = CGB - (UG * PR) \qquad [11]$$

ACS = annual cost saving

= قيمة الوفر السنوى

CGB = current annual gas cost , $ / Btu (from utility bills)

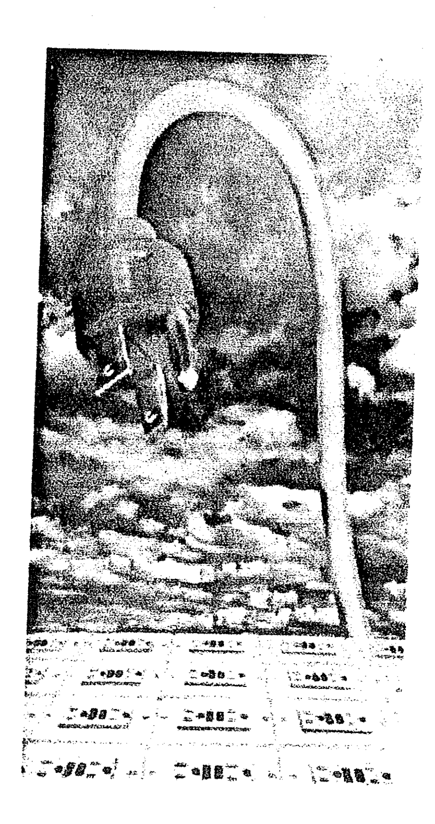
= التكلفة السنوية الحالية للغاز (بوحدة $ / Btu) من فاتورة المرفق

UG = units of gas purchased per year , Btu / yr

= وحدات الغاز المشترى في السنة (بوحدة Btu / yr)

PR = proposed rate per unit of gas ($/ Btu)

= سعر وحدة الغاز المقترحة (بوحدة $ / Btu)



10- استخدام المصادر المشتركة لغاز البروبان

تغذى جميع المواقع والمحطات من المصادر المشتركة (الشبكة العامة) بدلا من استخدام الغاز المعبأ في اسطوانات .

يخضع تطبيق هذه الفرصة للمعادلة

$$AES = AGC * (EC1 - EC2) \quad [12]$$

حيث

AES = annual energy savings

= وفر الطاقة السنوي

AGC = annual gas usage form cylinders, gal /hr

= (الغاز المستخدم سنويا من الاسطوانات (جالون / السنة

EC1 = unit cost of individual gas cylinders, $/ gal

= (تكلفة وحدة اسطوانة الغاز (دولار / جالونا

EC2 = anticipated unit cost of direct propane ($/ gal)

= (تكلفة الوحدة المتوقعة للغاز المستخدم مباشرة (دولار / جالون

الباب الثالث

نظم الغلايات وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Boiler Systems
And potential of Energy Saving

مقدمة

تعتبر الغلاية من أكثر المعدات المستهلكة للوقود بالمنشآت : لذا فأن أية تحسينات بعملية تشغيل الغلاية تؤثر فورا و بوضوح فى تخفيض استهلاك الطاقة وبالتالى تخفيض تكلفة الطاقة . يفضل تشغيل الغلاية وملحقاتها بأقصى كفاءة وذلك بغرض تقليل تكلفة التشغيل والإنتاج .

يوضح شكل (1-3) تمثيل لمداخل ومخارج الغلاية كما ويوضح شكل (2-3) نظام توليد البخار وفيما يلي بعض المؤشرات الفنية نتيجة للخبرات العملية في تشغيل الغلايات :

1 – أن كفاءة الاحتراق (Combustion efficiency) للغلاية النموذجية أو للفرن حوالي % 80

2 – حوالى % 90 من الفقد الحراري يرجع إلى الأسطح غير المعزولة والتى يمكن علاجها اقتصاديا بعزل هذه الأسطح

3 – أن تكلفة تسريب البخار ذو الضغط العالي (125 p_{sig}) تتراوح بين 150 $ إلى 500 $ لكل تسريب / الوردية / السنة (leak / shift / year) (وفقا لاسعار الطاقة العالمية)

4 – أن تكلفة تسريب البخار ذو الضغط المنخفض (15 p_{sig}) تتراوح بين 30 $ إلى 110 $ لكل تسريب / الوردية / السنة (leak / shift / year)

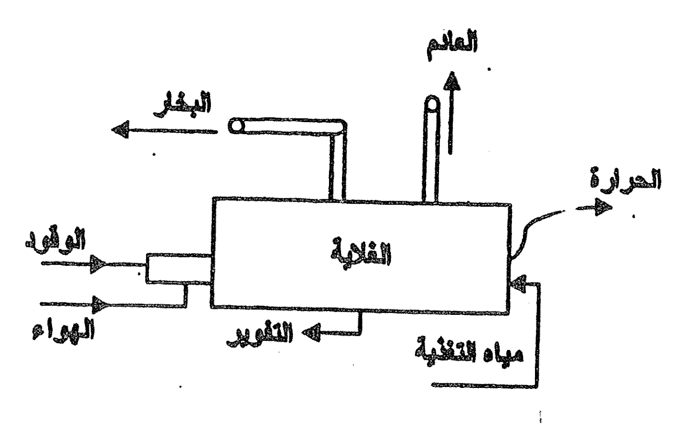
5 – أن التغير من التسخين بالكهرباء إلى التسخين بالغاز الطبيعي أو زيت رقم2 (السولار) يمكن أن يخفض تكاليف التسخين بحوالي % 78

---

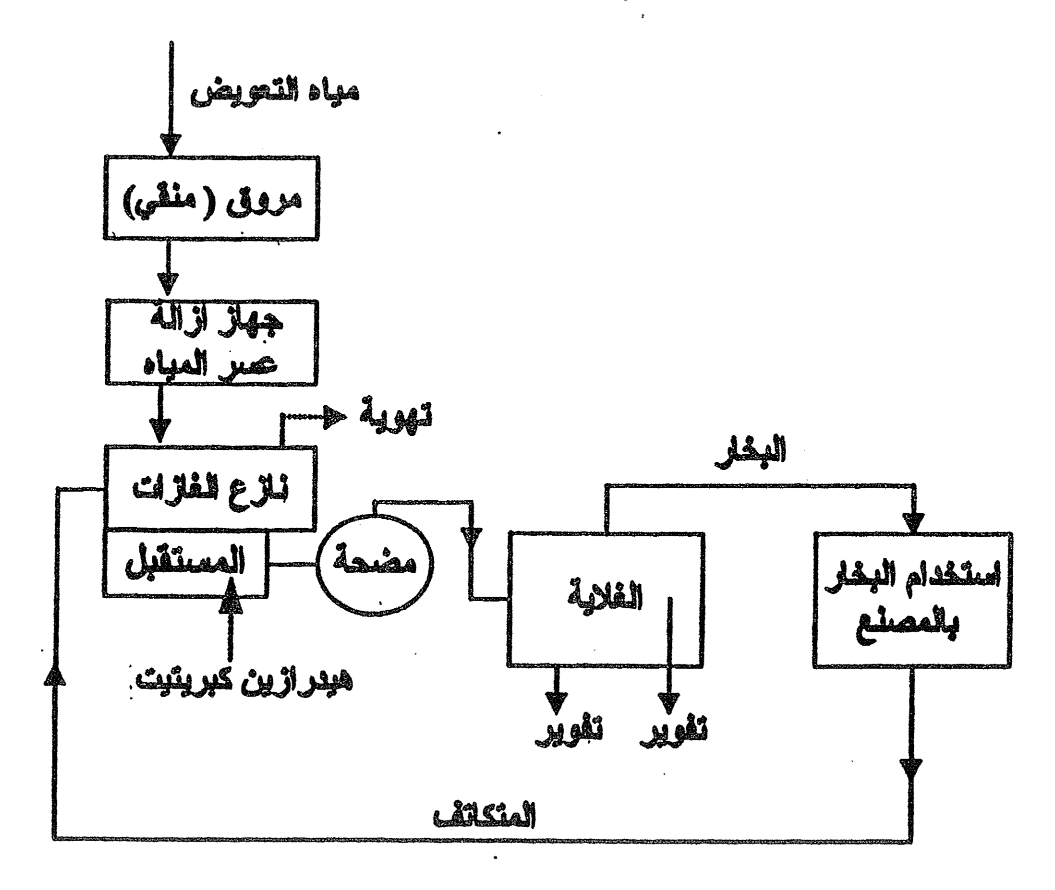
* $P_{sia} = 14.7 + P_{sig}$

P_{sig} ضغط مقياسي (Gauge pressure)

P_{sia} ضغط مطلق (absolute pressure)



شكل (3-1) تمثيل الغلاية



شكل (3-2) نظام توليد البخار

6 – أن تكلفة الفقد الحراري (heat lost) للمواسير غير المعزولة

(لكل 100 قدم من المواسير غير معزولة) موضحة فى جدول (1–3)

جدول (1–3)

الضغط P_{sig}	السعر $ / 100ft / shift / year
25	$ 75
50	$ 430
75	$ 480
100	$ 515

7 – بتطبيق ارشادات الصيانة والكشف الدورى البسيط للغلاية يمكن توفير من % 10 إلى % 25 من الطاقة المستهلكة

8 - يجب مراعاة عدم تراكم الأملاح على الطبقة الداخليـــة للغلايـــة حيث أنها تؤثـــر علـــى استهلاك الطاقة وتؤدى الى ارتفاع درجة حرارة معدن الغلاية كما فى شكل (3-3)

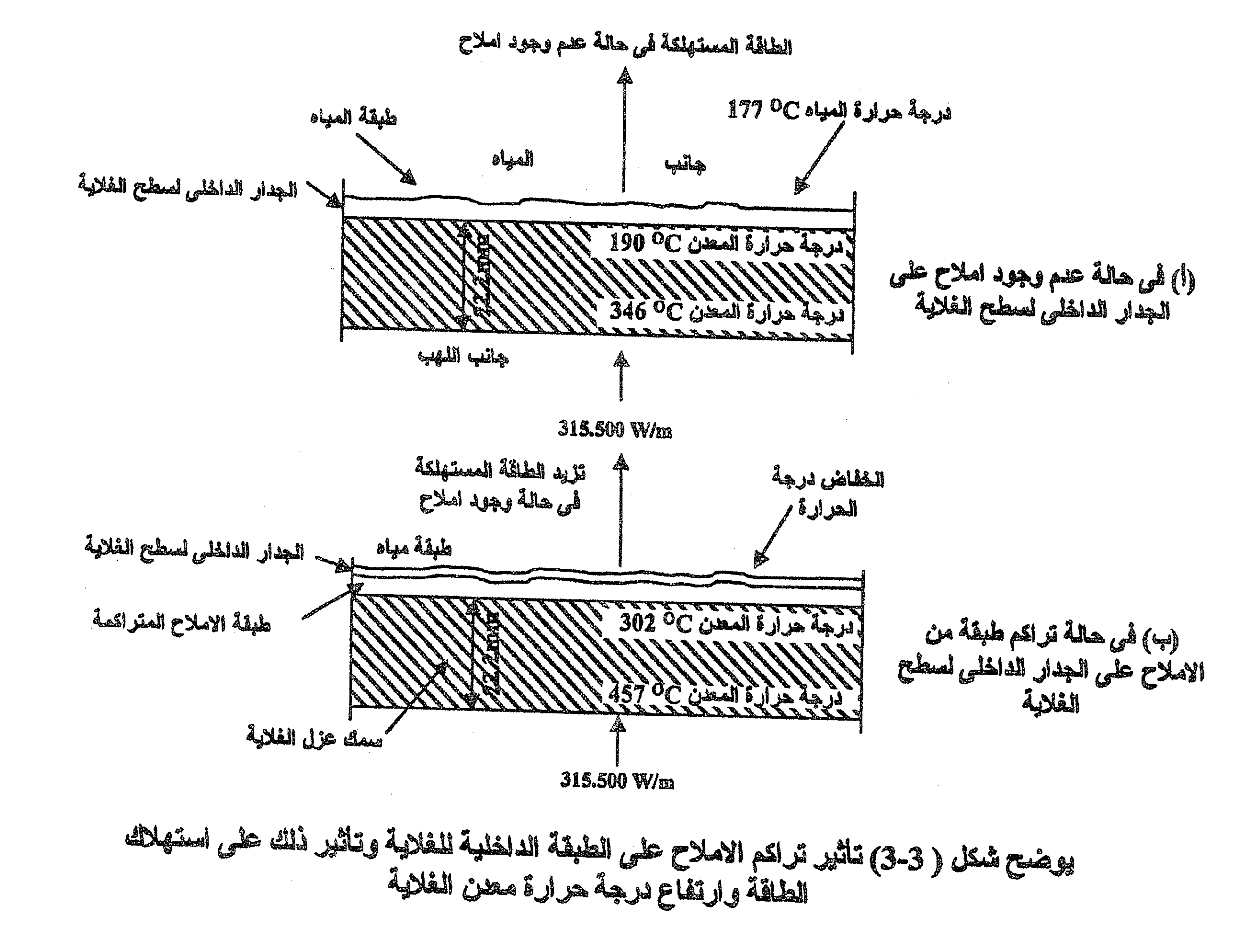
فرص ترشيد استخدام الطاقة بنظم الغلايات

1 – تحسين كفاءة الغلاية بتغير الوقود

(Improve boiler efficiency with fuel change)

2 – تقليل تفوير الغلاية بتحسين مياه التغذية المعالجة

(Minimize boiler blow down with improved feed water treatment)



يوضح شكل (3-3) تأثير تراكم الاملاح على الطبقة الداخلية للغلاية وتأثير ذلك على استهلاك الطاقة وارتفاع درجة حرارة معدن الغلاية

وفيمـــا يلـــي توضيـــح كـــل فرصـــة

1 - تحسين كفاءة الغلاية بتغيير نوع الوقود

عند استخدام وقود له قيمة حرارية أعلى (Higher heating value) تصبح كفاءة الاحتراق (Firing efficiency) للغلاية أفضل .

يوضح جدول (2-3) القيمة الحرارية العليا لبعض انواع الوقود ، يمكن زيادة كفاءة الغلاية بتطبيق برنامج للصيانة وبحيث يحتوى البرنامج على :

- تنظيف المواسير دوريا
- التفتيش على رأس الولاعة (burner head) والفوهة (orifice) مرة كل شهر وتنظيفها عند الضرورة
- نظافة السخان الغازي بالبخار المدفوع دوريا (soot . blow -out)
- اضبط الهواء الزائد (excess air) عند الضرورة
- إجراء التفوير[1] (blow down) والتأكد من ان تكرار عملية التفوير مناسبة لحالة مياه تغذية الغلاية

جدول (2-3) القيمة الحرارية العليا لبعض أنواع الوقود

وقودرقم Fuel NO.	الاسم الشائع	القيمة الحرارية العليا [2] HHV (Btu / Gal)	الثقل النوعي [3] Specific Gravity
1	Kerosene كيروسين	137000	0.81
2	Distillate قطارة الزيت (سولار)	141000	0.865
4	زيوت خفيفة جدا متبقية Very light residual	146000	0.90
5	light residual زيوت خفيفة متبقية	148000	0.94
6	الزيوت الثقيلة المتبقية (مازوت) Residual	150000	0.96

(source : Industrial Boiler Management , Kenneth G. Oliver , 1989)

(1) التفوير: هو تصرف المياه من قاع الغلاية (لمنع ترسب الأملاح على الجدران الداخلية للغلايـــة وبالتـــالي منع انسداد الغلاية) ويعتمد عدد مرات التفوير على كمية المواد الصلبة أو القلوية الموجودة بمياه التعويض

(2) القيمة الحرارية : هى عدد وحدات الطاقة فى كل وحدة من وحدات قياس الكتلة أو الحجم

(3) الثقل النوعى : هى النسبة بين كتلة اى حجم من الزيت عند 15.5 °C وكتلة نفس الحجم من المياه عند 15.5 °C

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي :

$$AES = GY * HVF * \left[1 - \frac{\eta_1}{\eta_2}\right] \qquad [1]$$

حيث :

AES = Annual energy saving
= وفر الطاقة السنوى
GY = gallons of fuel consumed / year
= الوقود المستهلك فى السنة بالجالون
HVF = Heating value of fuel oil , Btu / gal
= القيمة الحرارية للوقود (بوحدة Btu / الجالون)
والموضحة بجدول (3-2)
η_1 = anticipated combustion efficiency of boiler
= كفاءة الاحتراق المتوقعة للغلاية
η_2 = current combustion efficiency of boiler
= كفاءة الاحتراق الحالية للغلاية

2 - تقليل تفوير الغلاية بتحسين مياه التغذية المعالجة

يتم تحديد مستويات التفوير المثالية للحفاظ على مياه الغلايه بدرجه مقبولة . ولذلك لتقليل مفقودات المياه الساخنة ، ويجب المحافظة على عملية التفوير عند اقل مستوى مسموح عن طريق الضبط اليدوى أو من خلال تحكم آلي للتفوير واسترجاع البخار المتكاثف مرة أخرى للغلاية

وتوضح المعادلة التالية قيمة وفر الطاقة السنوي :

ACS = HY * STM * (CAB – CMB) [2]

حيث

ACS = Annual Cost Saving
= قيمة الوفر السنوى

HY = hours / year boiler is operated
= ساعات تشغيل الغلاية فى السنة

STM = Ib / hr of steam output from boiler
= مخرج البخار من الغلاية بوحدة باوند / ساعة

CAB = Cost of actual blow down , $ / hr per 100000 Ib/ hr of steam generated
= تكلفة التفوير الفعلى ، بالدولار / ساعة لكل100000 باوند /الساعة من البخار المولد

ويتم حساب التفوير الفعلى والتفوير المطلوب كالاتى :

(أ) <u>ايجاد التفوير الفعلى</u> BD (Actual blow down)

يحسب التفوير الفعلى (BD) تبعا للمعادلة :

BD = (A /(B-A)) * 100 * STM

حيث :

B = ppm of concentrated impurities in boiler drum water

الشوائب المركزة فى مياه بالون (drum) الغلاية بوحدة جزء فى المليون ويتم تحديدها بالاختبار المعملي

STM = Ib/ hr of steam output from each boiler

مخرج البخار من الغلاية بوحدة باوند / ساعه (نحصل عليها من مبين سريان البخار)

A = ppm of impurity in BFW

الشوائب فى مياه التغذية بوحدة جزء فى المليون

BFW = Ib / hr of boiler feed water

مياه تغذية الغلاية بوحدة باوند / ساعة

ويحسب A كالاتي

$$A = T * (\% MU)$$

حيث :

T = ppm of impurities in makeup water to deaerator from the treatment plant

الشوائب بمياه التعويض لمزيل الأكسجين من محطة المعالجة

(نحصل عليها من الاختبار المعملي)

MU = Ib/ hr of makeup water to deaerator from the water treatment plant

مياه التعويض من محطة معالجة المياه الى نازع الغازات بوحدة باوند / ساعة

(و نحصل عليها من مبين سريان البخار)

(ب) ايجاد التفوير المطلوب BDR (Required blow down)

يحسب التفوير الفعلي (BDR) تبعا للمعادلة :

$$BDR = (A /(BR-A)) * 100 * STM$$

حيث :

BR = Required B = التفوير المطلوب

يوضح شكل (4-3) تأثير تخفيض نسبة التفوير على نسبة كفاءة الغلاية

يمكن استخدام شكل (5-3) لحساب التحسين في الكفاءة بتغير درجة حرارة التسخين المتقدم لمياة التغذية

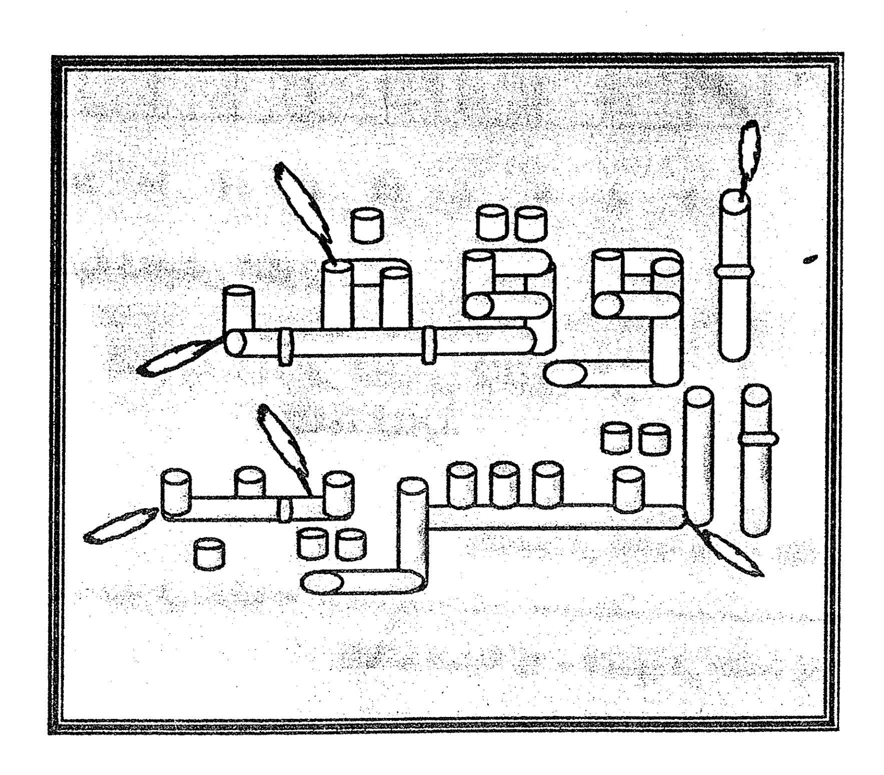
ويوضح شكل (6-3) الأثر الإيجابي لاسترجاع البخار المتكاثف إلى الغلاية والوفر الناتج عن ذلك .

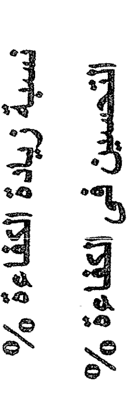
وعلى سبيل المثال من شكل (3-6)

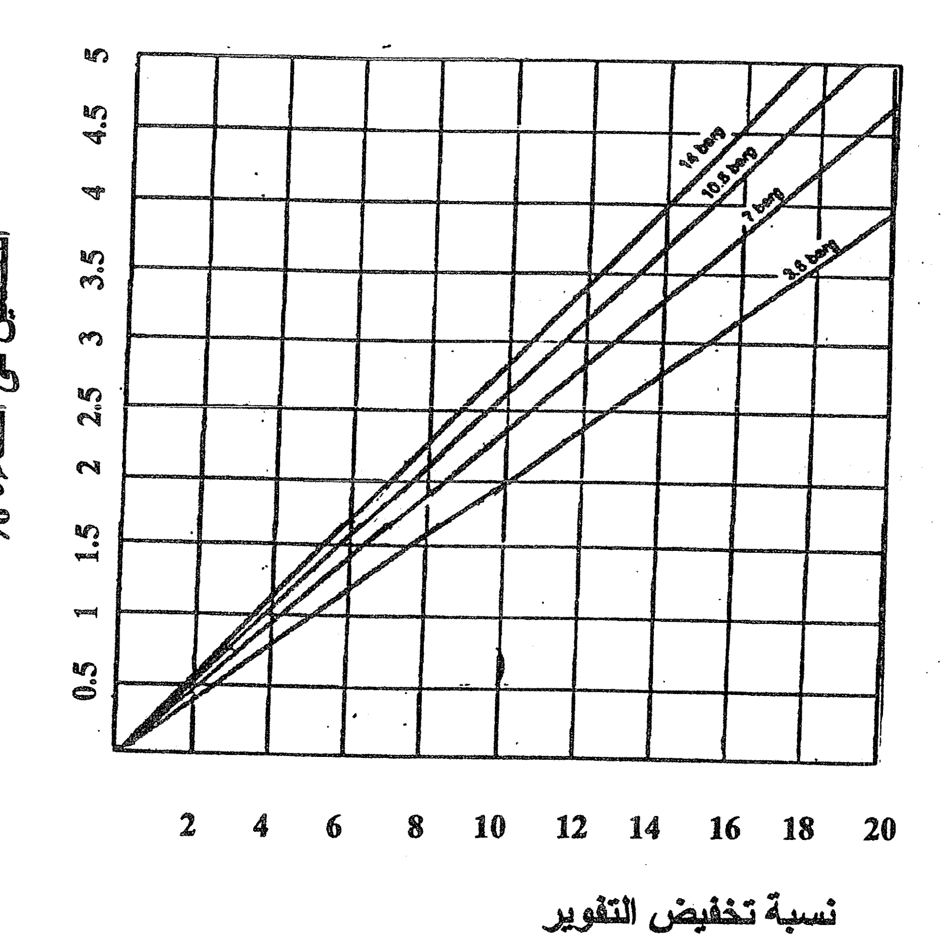
عند تغذية الغلاية بمياه تعويضية عند نسبة أملاح ذائبة في المياه مقدارها 200 جزئ/مليون جزئ.وكانت نسبة البخار المتكاثف الذي يتم استرجاعه للغلاية تساوى 10% من إجمالي البخار المنتج وكان المطلوب عمل التفوير عند نسبة أملاح ذائبة في المياه مقدارها 3000 جزئ/مليون جزئ نجد أن نسبة التفوير المثالية حوالي 7% من إجمالي البخار المنتج .

بينما عندما يكون نسبة البخار المتكاثف الذي يتم استرجاعه للغلاية يساوى 60% من إجمالي البخار المنتج عند نفس الظروف السابقة نجد أن نسبة التفوير المثالية تنخفض إلى حوالي 3% فقط من إجمالي البخار المنتج ، وهذا يرجع إلى أن نسبة الأملاح الذائبة بالبخار المتكاثف المسترجع للغلاية تكون صفر تقريبا .

وبالرجوع إلى شكل (3-4) نجد أنة نتيجة تقليل التفوير بحوالي 4% في حالة غلاية تعمل عند ضغط 10 بار تتحسن كفاءة الغلاية بحوالي 1%

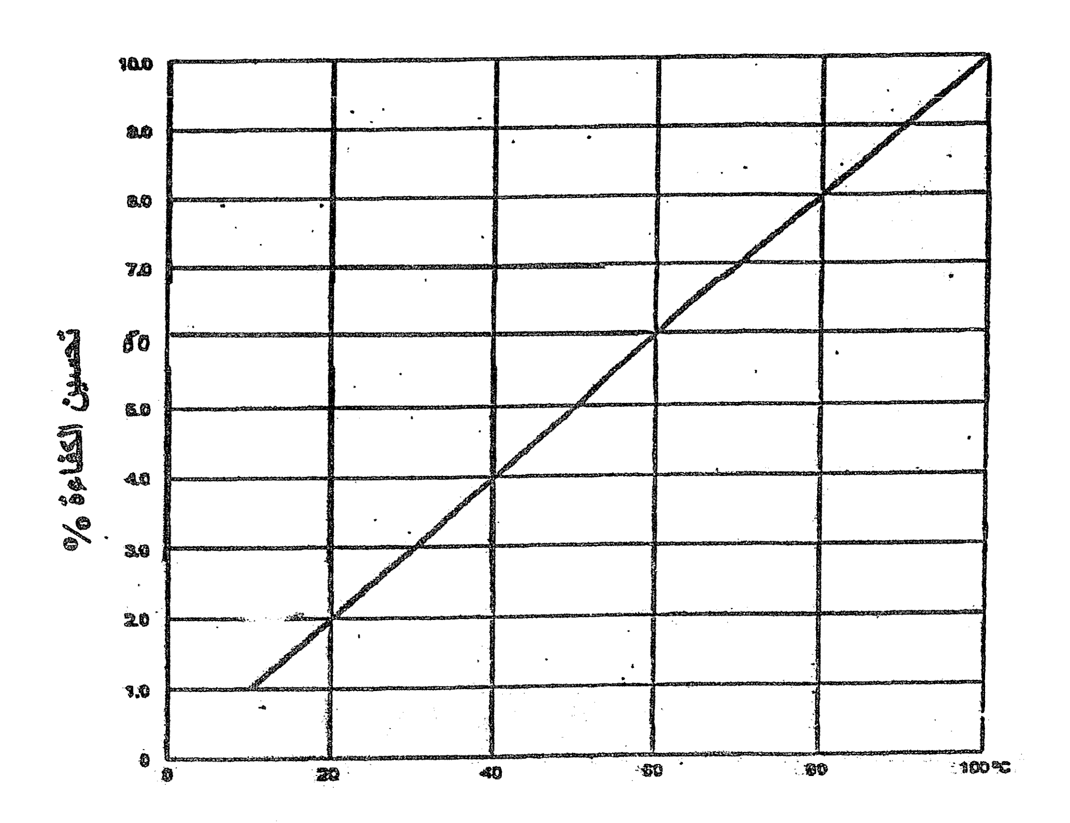






شكل (4-3) تاثير تخفيض التفوير على كفاءة الغلاية

$$\text{نسبة الوفر فى بالوقود} = \frac{(\text{التحسين فى الكفاءة \%}) \times 100}{(\text{الكفاءة السابقة \%} + \text{التحسين فى الكفاءة \%})}$$



درجة حرارة التسخين المتقدم لمياه التغذية

شكل (3-5) تحسين الكفاءة عند التسخين المتقدم لمياه التغذية

500
400
300
200
100

الاملاح الذائبة فى مياه التغذية

Condensate 0%
10%
20%
30%
40%
50%
60%
70%
80%
90%

TDS in Boiler 3,500 ppm
3,000 ppm
2,500 ppm
2,000 ppm

500 400 300 200 100 0

4% 8% 12% 16% 20%

الاملاح الذائبة فى مياه التعويض (PPm)

نسبة التفويرفى البخار المنتج

شكل (3-6) الاثر الايجابى لاسترجاع البخار المتكاثف إلى الغلاية والوفر الحادث

الباب الرابع
استعادة غازا ت العادم
وفرص ترشيد استخدام الطاقة
Flue / Exhaust Gas Recuperation And Potential of Energy Saving

مقدمة

تستلزم العمليات الصناعية استخدام الغلايات والأفران والمجففات .... على نطاق واسع خلال الصناعة ... ويجهز هواء الاحتراق بتسخين متقدم (preheat) حيث تؤدى التطبيقات الخاصة بالتسخين التمهيدي لهواء الاحتراق إلى زيادة الكفاءة وبالتالي تخفيض الوقود المستخدم .

يوضح شكل (1-4) منحنى تحسين كفاءة الاحتراق مع درجة حرارة العادم .

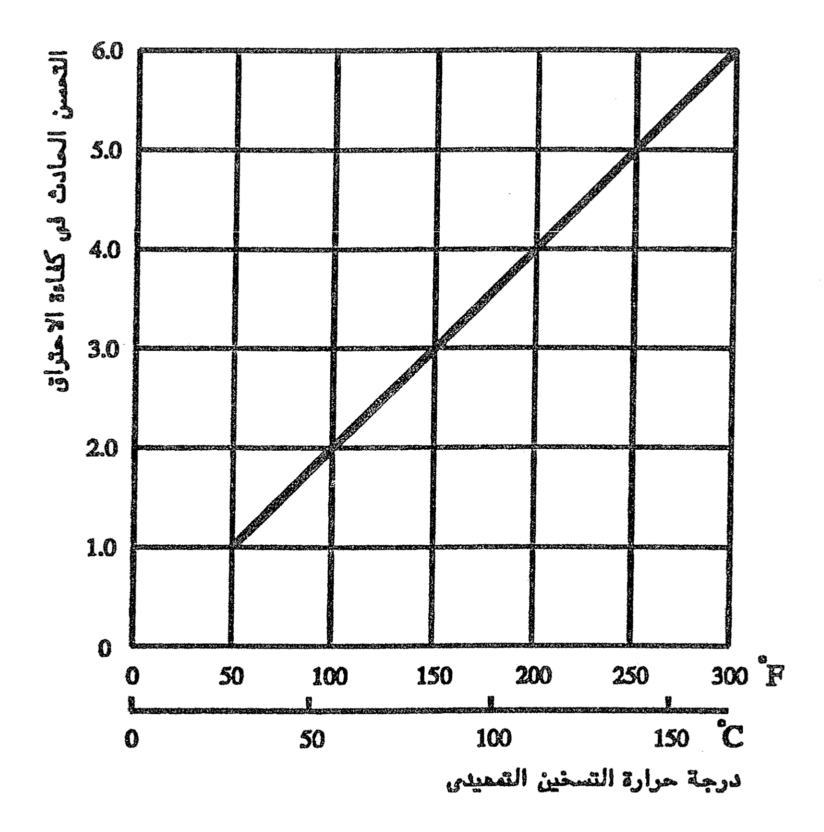
تتغير فترة الاسترداد اعتماد على حجم الغلاية أو الفرن أو المجفف . مثلا يحتاج إعادة تأهيل الغلايات للقدرات من 350HP حتى 750HP إلى متوسط فترة استرداد حوالي سنتين . بينما يحتاج إعادة تأهيل الأفران والمجففات للقدرات من 0.2 MMBtu/hr حتى 8.52 MMBtu/hr الى متوسط فترة استرداد حوالي 3.2 سنة

فرص ترشيد استعادة غازات العادم :

1- التسخين المتقدم لهواء الاحتراق للأفران والمجففات

(preheat combustion air of oven , furnace or dryers)

2- التسخين المتقدم لهواء الاحتراق للغلاية (preheat boiler combustion air)



شكل (1 - 4) العلاقة بين التحسن الحادث فى كفاءة الاحتراق نتيجة التسخين التمهيدى لهواء الاحتراق باستخدام غاز العادم

وفيما يلي توضيح لكل فرصة

1 -التسخين المتقدم لهواء الاحتراق للأفران والمجففات

تحتاج الأفران والمجففات إلى وحدة مبادل حراري هواء / هواء (air – to- air heat exchanger) . توضح الأشكال (4-2) ، (4-3) بعض انواع المبادلات الحرارية المستخدمة لهذا الغرض .

ويعمل المبادل الحراري على التسخين المتقدم للهواء الخارجي المغذى للأفران يتم ذلك بأن تصمم مجارى (duct) كل من الغازات العادمة وهواء الاحتراق فى اتجاهين متضادين على المبادل الحراري عندئذ يحدث تسخين متقدم لهواء الاحتراق .

تعتمد تكلفة هذا التطبيق على عدة عناصر ، وأهمها المبادل الحراري كتكلفة رئيسية والذي يجب ان يكون معالجا ضد التآكل والصدأ لاحتمال تواجد محاليل كيماوية فى هواء العادم (خاصة أكاسيد الكبريت)

معادلة وفر الطاقة السنوي نتيجة تطبيق هذه الفرصة

$$AES = \frac{60QH}{\eta}\left(PC_P\right)\left(T_{sl} - T_{se}\right) * 10^{-6} \qquad [1]$$

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

Q = required intake air flow rate(CFM) according to the measured exhaust flow rate in the stack,ft^3/min

= معدل سريان هواء المأخذ المطلوب (بوحدة قدم مكعب / دقيقة) تبعا لمعدل سريان العادم المقاس فى المدخنة

T_{se} = supply entering temperature(annual average daily outdoor temperature during operation hours ,°F)

= درجة حرارة الهواء الداخل (متوسط درجة الحرارة الخارجية اليومي سنويا خلال ساعات التشغيل (درجة فهرنهيت)

T_{sl} = exit air temperature currently leaving oven or furnace ,°F (from supplier)

= درجة حرارة الهواء الخارج الحالى من الفرن بوحده °F (نحصل عليها من المصدر)

PCp = specific heat capacity at the average temperature °F , Btu/ft^3 °F

سعة الحرارة النوعية عند متوسط درجة الحرارة (بوحدة $Btu/ft^3\ ^\circ F$)

(ونحصل عليها بالحساب) {الحرارة النوعية للهواء (specific heat)

تساوى $0.24\ Btu/Ib-\ ^\circ F$ ونحصل على كثافة الهواء density of air من ملحق A جدول (2-A)

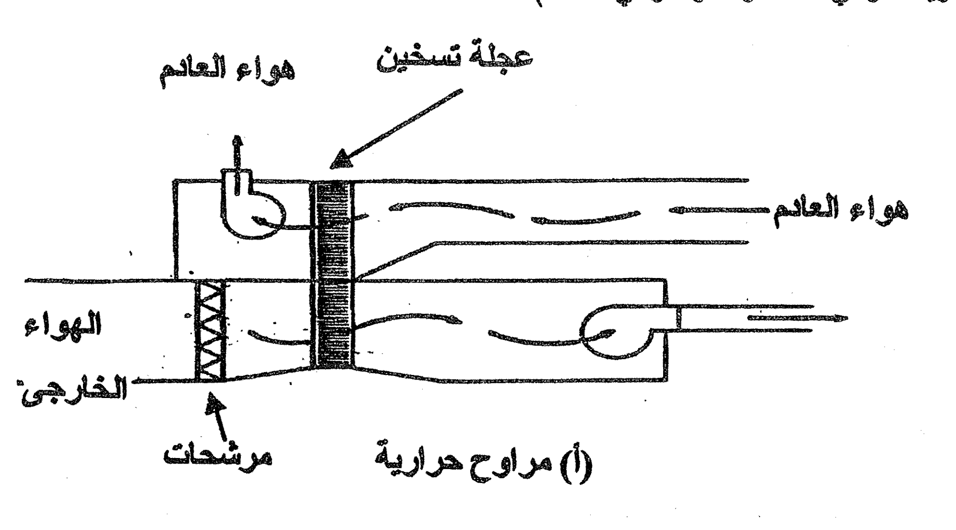
H = annual number of operating hours

عدد ساعات التشغيل السنوية

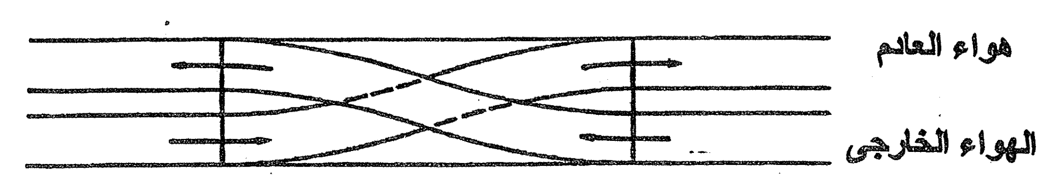
η = estimated efficiency of the burners based on their fuel type

الكفاءة التقديرية للولاعات على أساس نوع الوقود

(للزيت حوالي 0.9 , وللغاز حوالي 0.85)

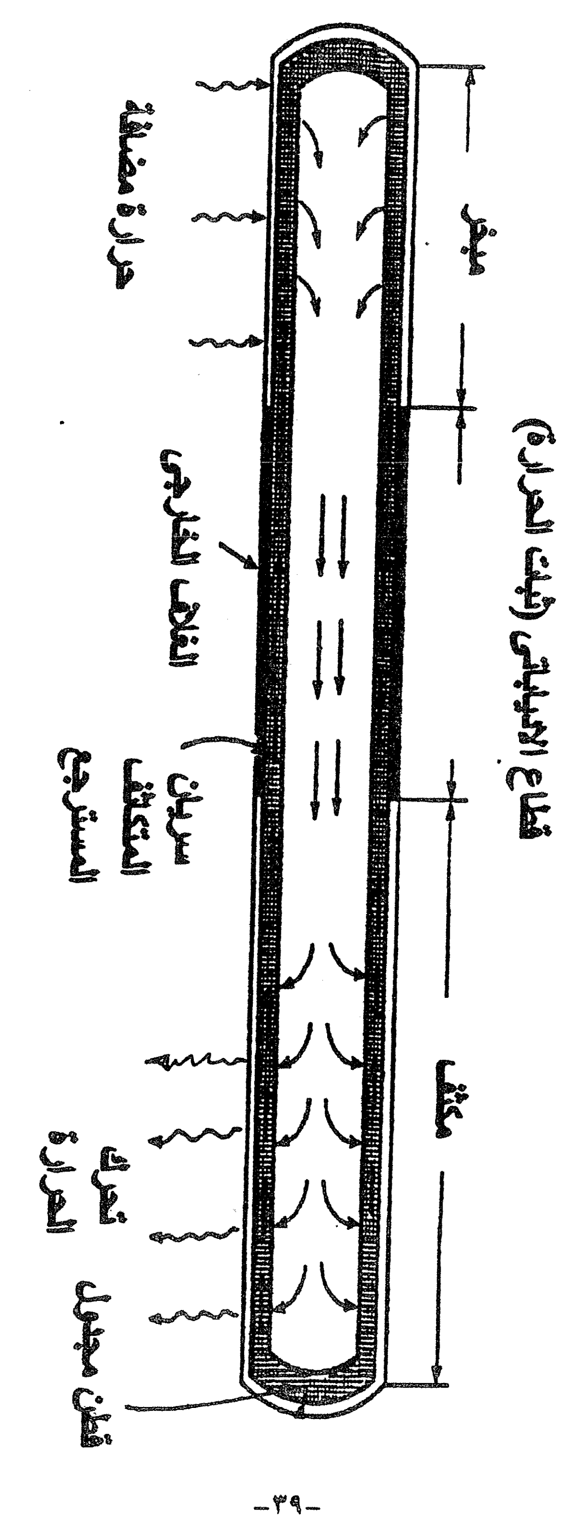


(أ) مراوح حرارية



(ب) مبادل حرارى هواء / هواء

شكل (2-4)بعض أنواع المبادلات الحرارية



شكل (4-3) مبادل حرارى من نوع مواسير الحرارة

2-التسخين المتقدم لهواء الاحتراق بالغلاية

يتم تركيب مواسير متحدة المركز حول مدخنة العادم (exhausting stack)
بأعلى الغلاية مباشرة إلى مأخذ المروحة والتي تسحب الهواء الساخن من أعلى غرفة الغلاية . مؤدية إلى تسخين اكثر وتمر إلى اسفل حول مدخنة العادم
وهذا يؤدى إلى زيادة درجة حرارة هواء الاحتراق وبالتالي انخفاض الوقود المستخدم للغلاية .
لتطبيق ذلك يلزم تركيب مواسير معدنية لأخذ هواء السقف الساخن إلى هواء احتراق مأخذ الغلاية . ويوصى أيضا باستخدام مروحة عند مأخذ الباب .
تتغير فترة الاسترداد لتكلفة هذه التجهيزات اعتمادا على حجم الغلاية او الفرن او المجفف.
تستخدم المعادلة التالية لحساب قيمة الوفر السنوي

$$AES = EUA * \left[1 - \frac{\eta_{ef}}{\eta_{pf}}\right] \qquad [2]$$

حيث :

AES = annual energy saving
= وفر الطاقة السنوى

EUA = energy used annually by the boiler; Btu / yr
= الطاقة المستهلكة سنويا بالغلاية (بوحدة Btu/yr)

η_{ef} = estimated current boiler efficiency
= الكفاءة الحالية التقديرية للغلاية

η_{pf} = proposed boiler efficiency
= الكفاءة المقترحة للغلاية(بعد التسخين)

الباب الخامس

إصلاح وتحسين شبكات البخار

وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Steam Delivery System upgrade and repair and Potential of Energy Saving

مقدمه

تعتبر شبكات البخار من المكونات الأساسية والرئيسية لكثير من العمليات بالصناعة . فـي حالة وجود تسريب بخار من نظام التوزيع أو ان العزل غير مناسب فإن الغلاية ستولد بخار أكثر من المطلوب . تعتبر نظم الصيانة السليمة لشبكة البخار من أكـثر الوسـائل الفعالـة للتغلب على الطاقة المفقودة نتيجة تسريب البخار . فمثلا فى نظم البخار فإن مصيدة البخـار (steam trap) العاطلة تفقد 50×10^6 **Btu** فى السنة بتكلفة بين **100 $ & 1000 $** اعتمادا على مصادر الوقود .

يوضـح شكل (5-1) أ ، ب مكـونات نظام شبكات البخار والمتكاثف ومواضع ضياع الطاقة ويوضح شكل (5-2) تمثيل لنظام البخار .

فرص ترشيد استخدام الطاقة

1 – استخدام المقاس الصحيح لمصايد البخار — **Use correct size steam traps**

2 – تخفيض مفقودات شبكات البخار — **Reduce steam Delivery system Losses**

3 – تخفيض المفقودات الحرارية بعزل الأسطح المكشوفة
Reduce heat losses by insulation of exposed surfaces

4 – زيادة كمية المتكاثف المسترجع — **Increase amount of condensate returned**

5 – استخدام البخار المتكاثف للتسخين المتقدم
Use steam condensate for preheating

6 – استخدام المتكاثف الوميضى لانتاج بخار بضغط منخفض
Flash condensate to produce low – pressure steam

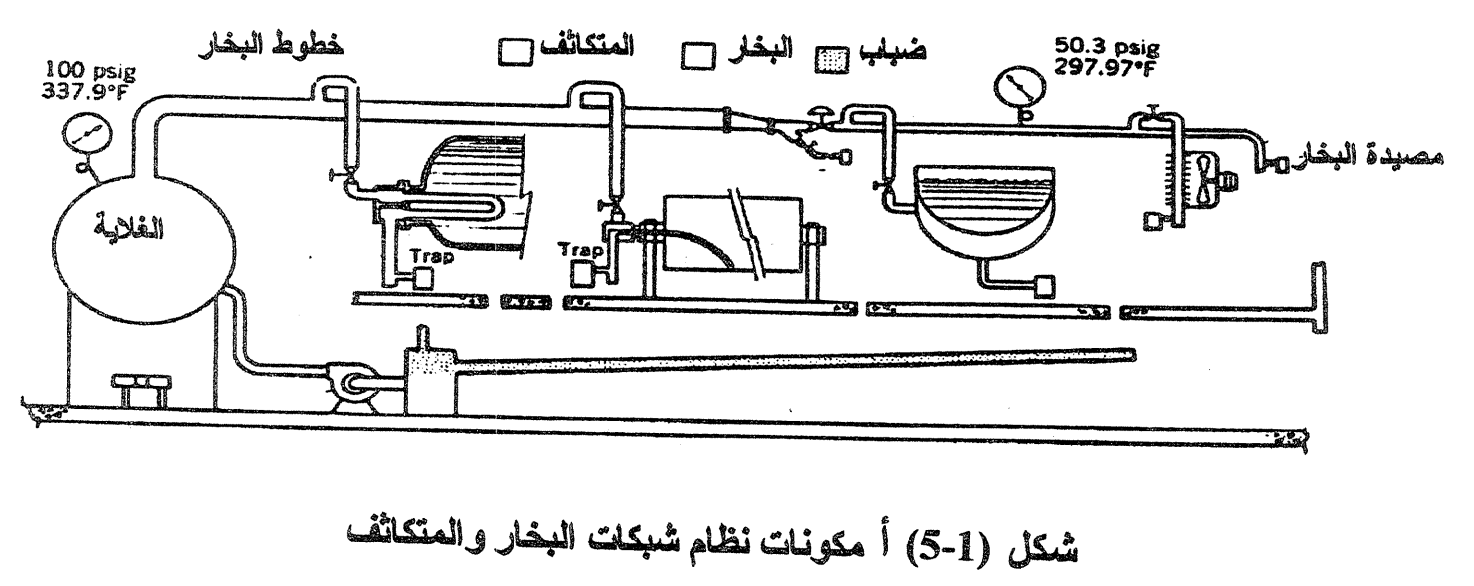
7 - استخدام أقل ضغط بخار تشغيل ضروري

Use minimum necessary operating steam pressure

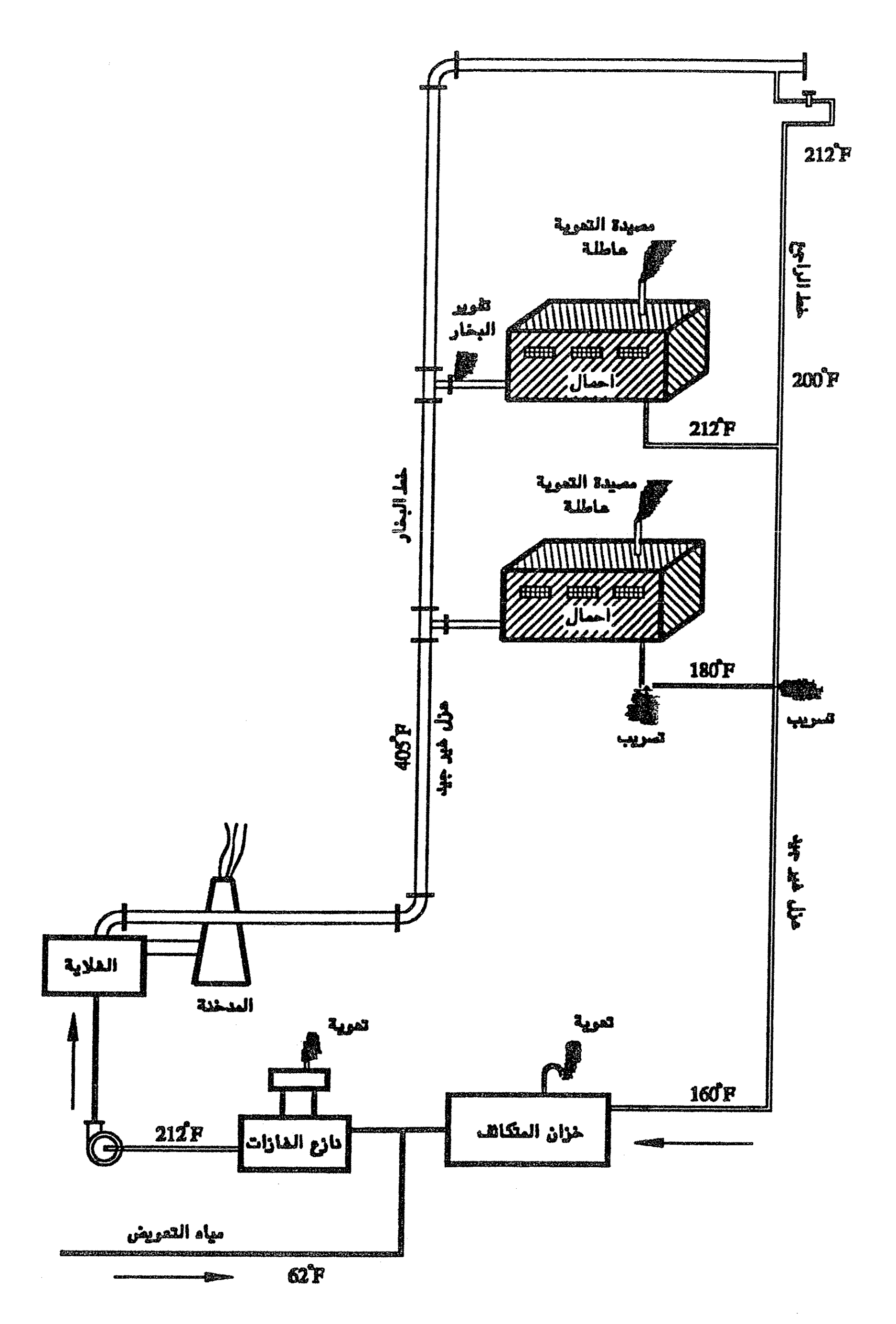
8 - تخفيض الطلب على البخار **Reduce demand for steam**

9 - تخفيض فقد البخار **Reduce steam loss**

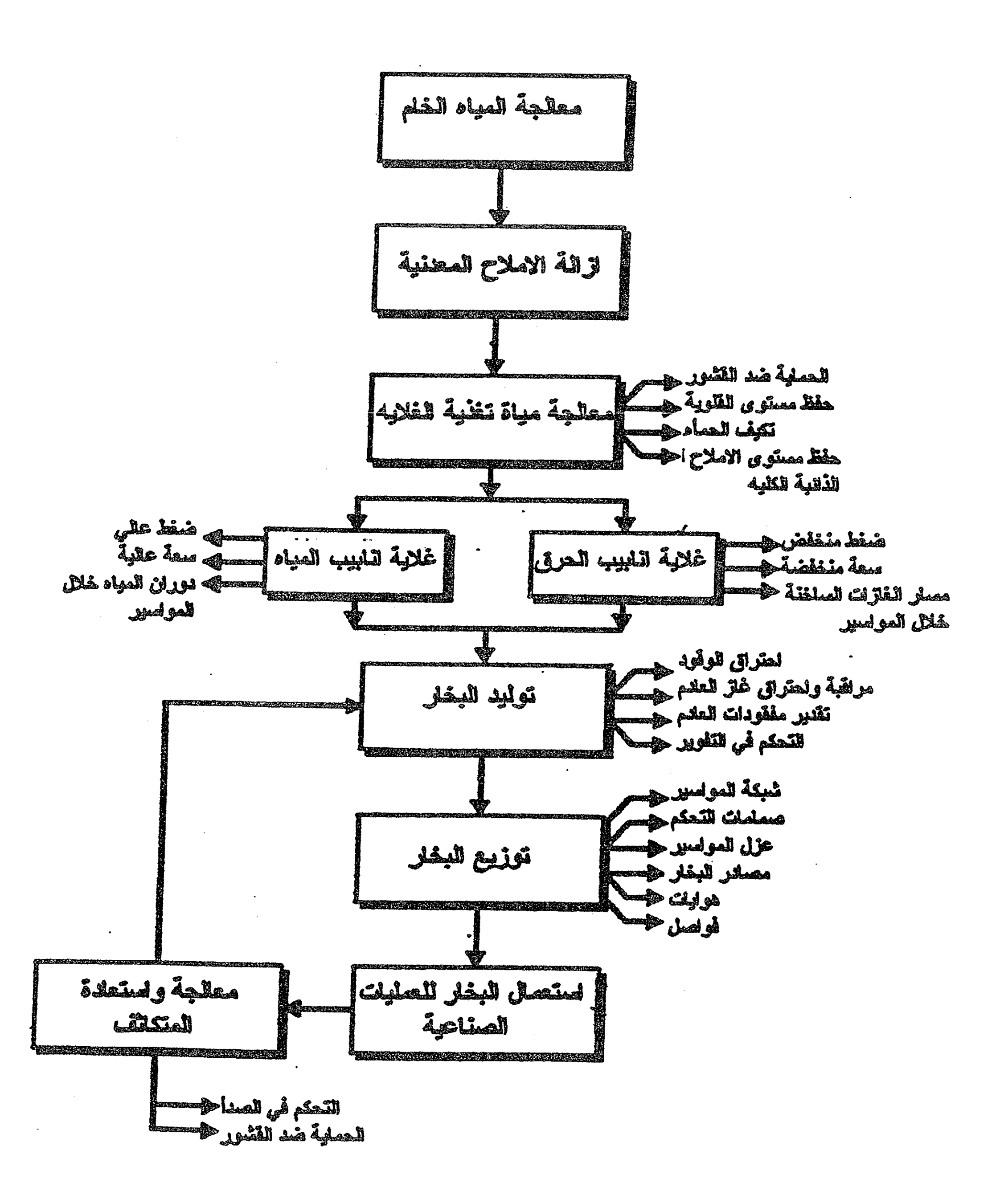




شكل (5-1) أ مكونات نظام شبكات البخار والمتكاثف



شكل (1-5) ب شبكة توزيع البخار موضحا بها كيفية ضياع الطاقة



شكل (2-5) نظام البخار

وفيما يلى توضيح كل فرصه ترشيد

1 - استخدام المقاس الصحيح لمصايد البخار

تستخدم مصايد البخار بشبكة البخار بغرض :

- التخلص من الهواء وأكاسيد الكربون والبخار المتكاثف
- منع بخار نظام التوزيع من الخروج إلى الجو المحيط

إذا لم يتم ذلك فأن مواسير البخار والصمامات والفلانشات تتعرض للتآكل . يمكن بالاختيار السليم لمقاس مصايد البخار التغلب على البخار ذي الضغط المرتفع ودرجة الحرارة العالية والذي سينطلق إلى خطوط المتكاثف المسترجع وبالتالي يحفظ طاقة البخار داخل النظام . يمكن للبخار الزائد ان يتحول إلى طاقة وفقد فى الوقود . عند حدوث انهيار بمصايد البخار فيجب إجراء صيانة فورية لها . ان الاختيار المناسب لمقاس مصايد البخار يسمح فقط للمتكاثف بالاسترجاع إلى الغلاية أو إلى خزان المتكاثف ويساعد على تقليل عمليات الصيانة.

وتوضح المعادلة التالية سعة المتكاثف المطلوب للمصيدة لاختيار المصيدة المناسبة

$$RTC = SF * CL * CO \qquad [1]$$

حيث

RTC = required condensate trap capacity (Ib/hr)

= سعة المتكاثف المطلوب للمصيدة (باوند/ ساعة)

SF = safety factor

= معامل الأمان (تحصل عليه من لوحة البيان)

يوضح جدول (3-A) بملحق A عامل الأمان لبعض التطبيقات

CL = condensate load (Ib/hr)

= حمل المتكاثف (باوند/ساعة) (يعتمد على التطبيقات)

CO = anticipated carryover, %

= التحميل المتوقع %

2 ـ تخفيض مفقودات شبكات البخار

يمكن تخفيض الطاقة المستهلكة بالغلاية عن طريق

- إصلاح أو تغيير مصايد البخار العاطلة
- تنفيذ برنامج صيانة لمصايد البخار
- منع تسريب البخار من الصمامات وخطوط البخار ومحطات تخفيض الضغط الحالي ومعدات العمليات
- إغلاق مصايد البخار بخطوط البخار المحمص (superheated steam)

بتطبيق ذلك ينخفض الوقود اللازم لتوليد البخار

$$AES = (SL * LF * ND * HY) / \eta \qquad [2]$$

وتوضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة :

حيث :

AES = annual energy saving
= وفر الطاقة السنوى

SL = energy of steam loss per trap (MMBtu/yr) given steam pressure and equivalent leak size
= طاقة فقد البخار لكل مصيدة عند ضغط البخار وحجم التسرب المكافىء
وتحصل عليها من ملحق A جدول (4-A)

LF = load factor of boiler
= عامل حمل الغلاية

ND = number of defective traps (on same boiler)
= عدد المصايد العاطلة (على نفس الغلاية)

HY = operating hours per year
= عدد ساعات التشغيل سنويا

η = boiler efficiency = كفاءة الغلاية

الجداول والأشكال التوضيحية من ملحق A

جدول (A-4) الفقد الحراري السنوي لكل مصيدة نتيجة تسريب البخار (بوحدة MMBtu/y)

جدول (A-5) معدل تسرب البخار خلال الثقوب بوحدة (Ibm/hr)

جدول (A-6) فقد المائع خلال الثقوب بوحدة (lb/hr)

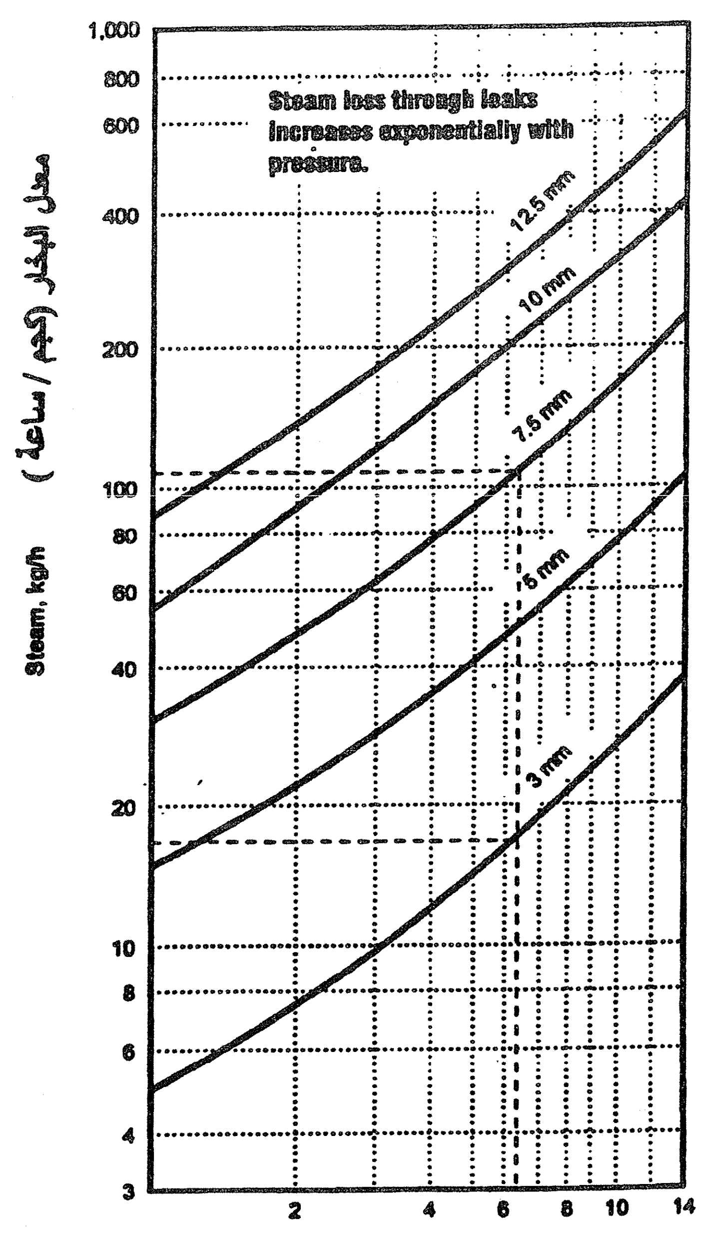
جدول (A-7) الفقد الحراري وفقد البخار عند ضغط بخار 600 psig بوحدة (Btu/hr) & (Ib/ hr)

جدول (A-8) فقد البخار عند 100 psi بفرض أن كفاءة الغلاية 80 % تبعا لمقاس فتحة المصيدة

شكل (5-3) فقد البخار نتيجة التسرب من فوهات تنفيس إلى الجو

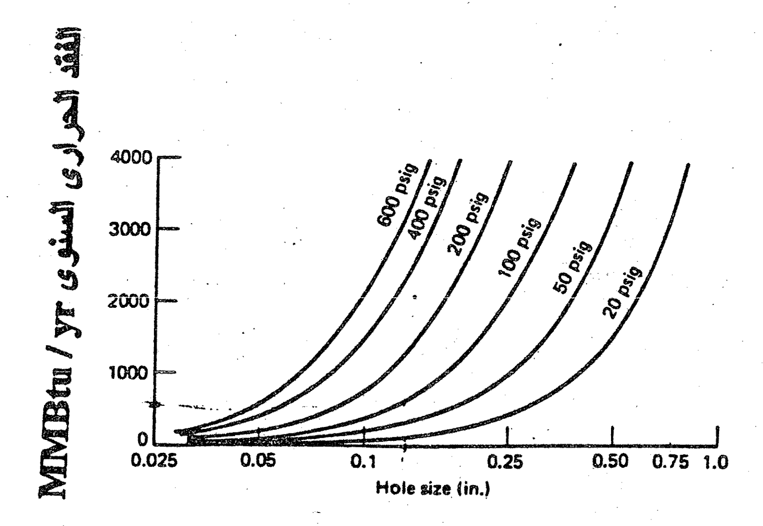
شكل (5-4) الفقد الحراري نتيجة تسريب البخار





ضغط البخار ، بار (*100 = KPa)

شكل (3-5) فقد البخار نتيجة التسرب من فواهات تنفيس إلى الجو



مقاس الثقب (بوصة)

شكل (4-5) الفقد الحرارى نتيجة تسريب البخار

3 - تخفيض المفقودات الحرارية بعزل الأسطح المكشوفة

تمثل الأسطح المكشوفة للإشعاع الحراري جزء من مفقودات الطاقة .

في حالة ارتفاع درجة حرارة الأسطح إلى أعلى من $150\,^0F$ فيجب التأكد مـــن أن العــزل كافي . لتقليل مفقودات الحرارة (وبالتالي تقليل تكاليف وقود الغلاية) فيجب مراعاة :

زيادة أو إصلاح أو عزل كل من :

- خزانات تخزين المتكاثف
- خطوط البخار والمتكاثف
- سطح الأفران (oven)

$$AES = \left[HY * \left(HL_c - HL_a \right) \right] / \eta \qquad [3]$$

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة :

حيث :

AES = annual energy saving
= وفر الطاقة السنوي

HY = operating hours per year of boiler providing steam
= عدد ساعات التشغيل السنوية للغلاية

HL_C = current (uninsulated surface) heat loss , Btu / ft – hr
= (Btu / ft – hr الفقد الحراري الحالي (السطح غير المعزول) (بوحدة

(ملحق A جدول (9-A))

HL_a = anticipated (insulated surface) heat loss , Btu / ft – hr
= (Btu / ft – hr الفقد الحرارى المتوقع (السطح المعزول) (بوحدة

(ملحق A جدول (10-A))

η = boiler efficiency = كفاءة الغلاية

PCF = pipe covering factor

معامل العزل الحراري للمواسير (كما ملحق A فى جدول (11-A))

ولحساب الفقد الحراري (HL) تطبق المعادلة التالية

$$HL = U * A * DT$$

وحيث ان لكل سطح معامل انتقال حرارة (U) مختلف ، فيجب حسابه مستقلا

حيث :

U = heat transfer coefficient , Btu / hr – ft^2 – °F
= (Btu /hr –ft^2 – °F معامل انتقال الحرارة (بوحدة

A = surface area , ft^2 = (ft^2مساحة السطح (بوحدة

DT = difference between surface and ambient temperature , °F
= (°F اختلاف درجة الحرارة بين السطح والجو المحيط (بوحدة

الجداول والأشكال التوضيحية

من ملحق A: جدول (A–9) معاملات انتقـال الحرارة لمواسـير صلب غيـر معـزول (المكشوفة)

جدول (A-10) عاملات انتقال الحرارة للمواسير المعزولة

جدول (A-11) عاملات تحويل المواد العازلة

جدول (A-12) الفقد الحرارى للمواسير المعزولة (بوحدات Btu/ft/hr)

جدول (A-13) الفقد الحرارى من المواسير المكشوفة (بوحدات w/m)

جدول(A-14) المقاسات الاسمية للمواسير المستخدمة بنظم البخار

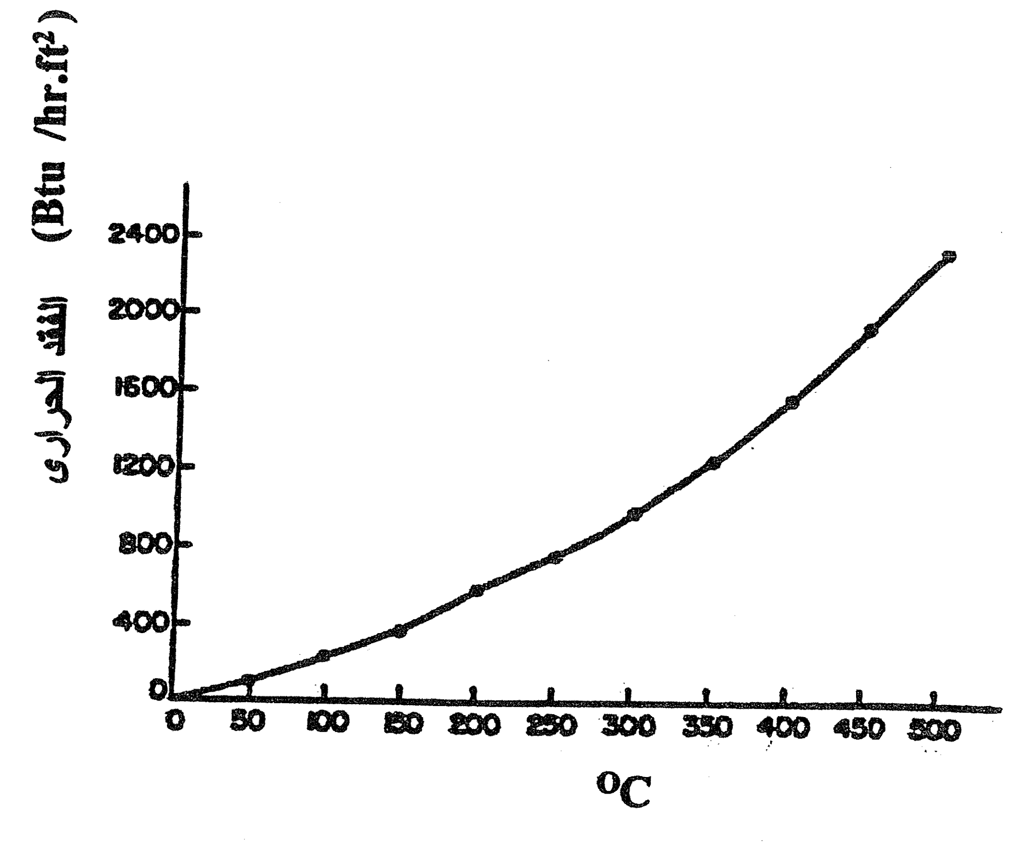
جدول (A-15) اقل سمك لعزل المواسير تبعا للاستخدام

شكل (5-5) منحنى العلاقة بين الفقد الحرارى وفرق درجة الحرارة للمواسير المكشوفة

شكل (5-6) العلاقة بين سمك العزل الحرارى وعناصر التكلفة السنوية

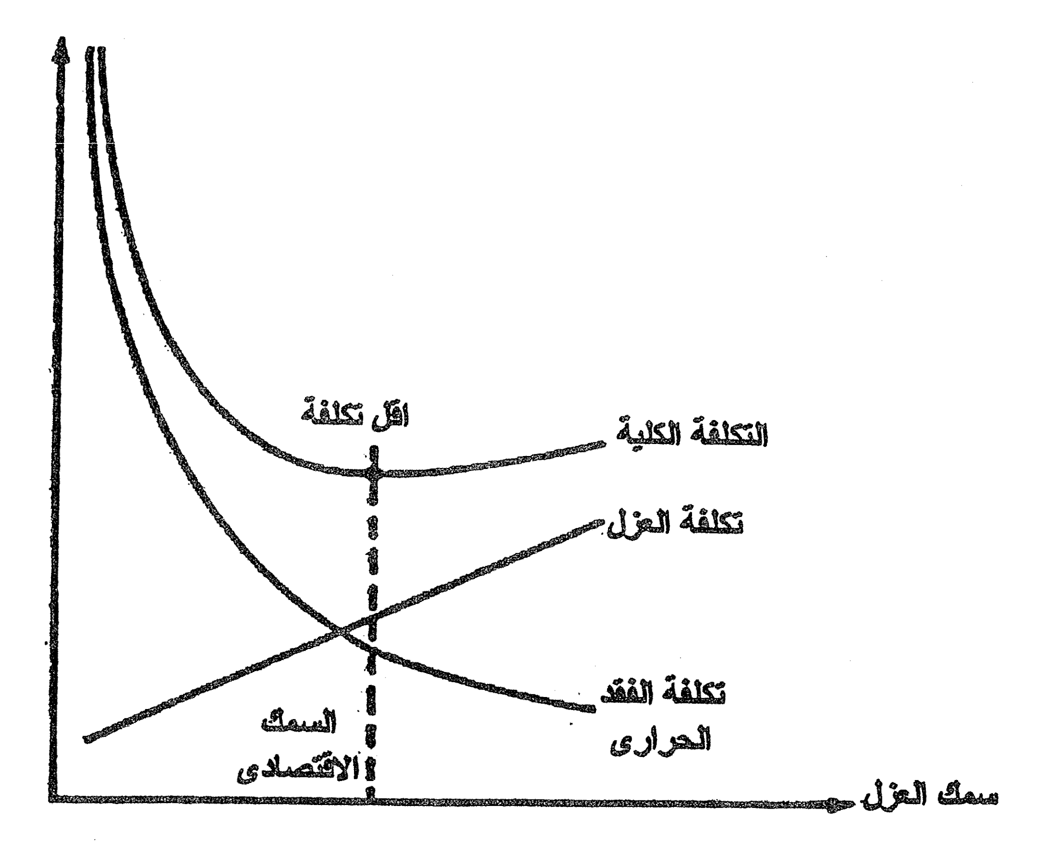
شكل (5-7) الفقد الحرارى من خطوط (مواسير) البخار غير المعزولة

شكل (5-8) انواع الفقد الحرارى من الخزان المكشوف



فرق درجة الحرارة بين حرارة البخار وحرارة الجو المحيط (^oF)

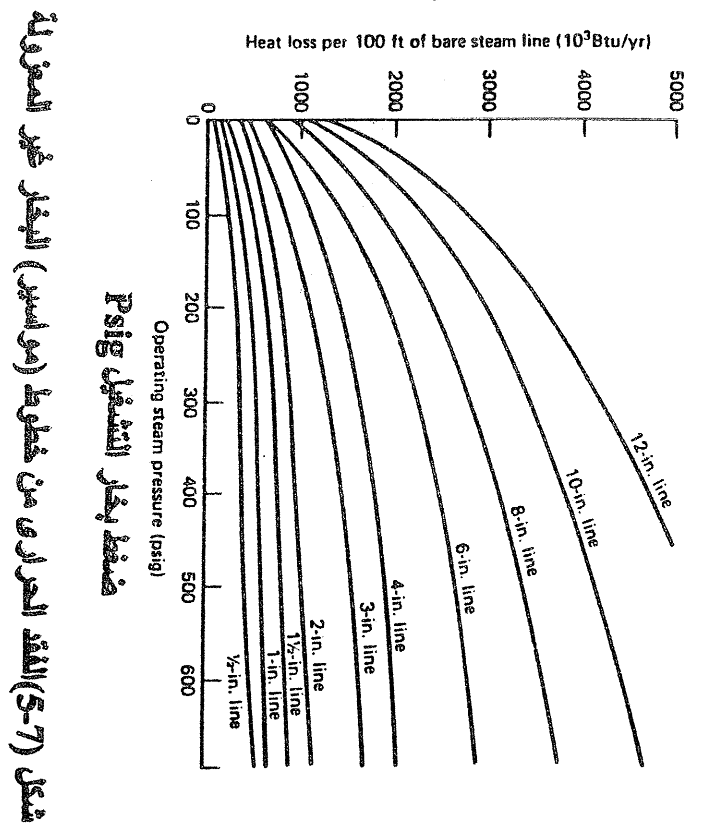
شكل (5-5) منحنى العلاقة بين الفقد الحرارى وفرق درجة الحرارة للمواسير غير المعزولة (المكشوفة)



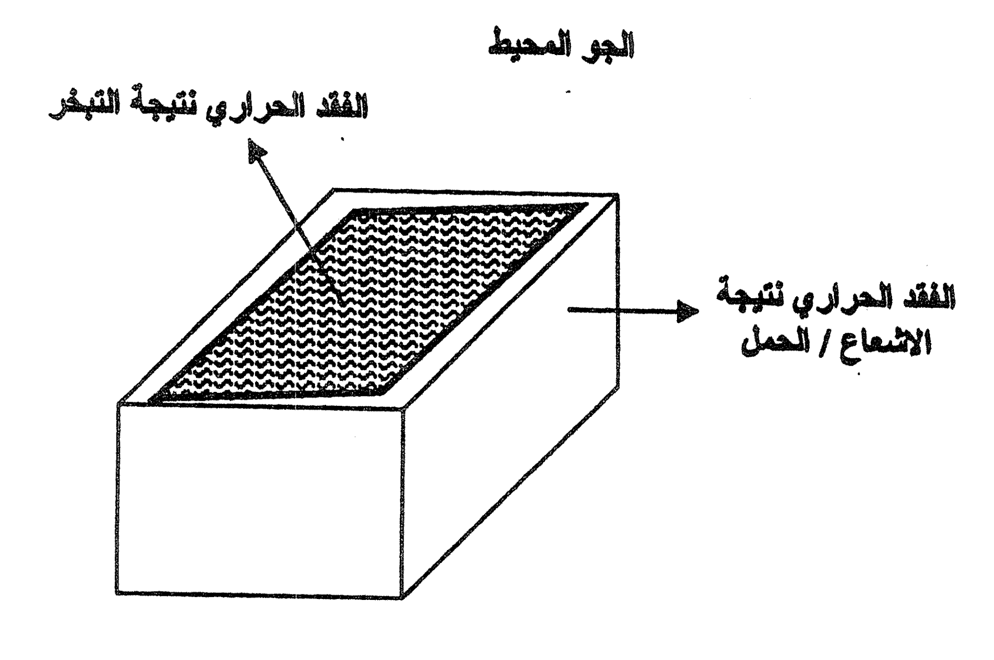
شكل (5-6) العلاقة بين سمك العزل الحرارى وعناصر التكلفة السنوية

الفقد الحرارى لكل 100 قدم لمواسير بخار غير

معزولة 10^3 Btu / yr



شكل (5-7) الفقد الحرارى من خطوط (مواسير) البخار غير المعزولة



شكل (5-8) خزان مكشوف (مفتوح)

4 - زيادة كمية المتكاثف المسترجع

أن المتكاثف الناتج من استخدام الحرارة والمسترجع على المصارف أو صرفه بطريق غير مفيد يكون سببا في زيادة الوقود المستخدم للغلاية عندئذ فأن الغلاية تستخدم مياه تعويض أكثر .

لزيادة كفاءة نظام البخار يجب :

- الحفاظ على مصايد البخار سليمة أي التخلص من المتكاثف من خطوط البخار
- زيادة ضغط البخار
- منع واصلاح التسريب
- استخدام خزان للمتكاثف

تزيد كفاءة الغلاية عند الاستخدام المباشر للمتكاثف والذى يكون ذى درجة حرارة اعلى من مياه مصدر التغذية . وتوضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوى

$$AES = \left[CR * C_p * \left(T_c - T_m\right) * HY\right] / \eta \qquad [4]$$

حيث

AES = annual energy saving = وفر الطاقة السنوى

CR = condensate returned , Ib/hr

= (Ib/hr المتكاثف المسترجع ويقاس بمعرفة عامل المنشأة (بوحدة

C_P = specific heat of water ,1 Btu / Ib – °F

= (1 Btu / Ib – °F الحرارة النوعية للمياه (بوحدة

T_C = temperature of condensate , °F

= (°F درجة حرارة المتكاثف (بوحدة

T_m = temperature of make up water , °F

= (°F درجة حرارة مياة التعويض (بوحدة

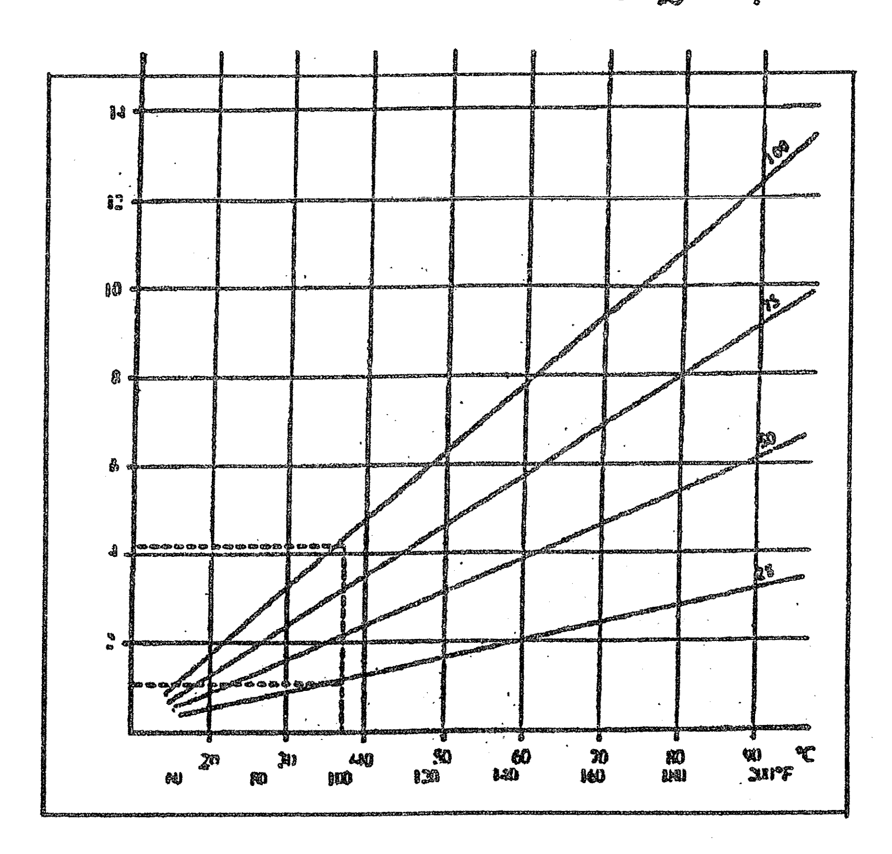
HY = operating hours per year of boiler providing steam

= عدد ساعات تشغيل الغلاية فى السنة

η = efficiency of boiler providing steam = كفاءة الغلاية

يمكن باستخدام شكل (5-9) حساب وفر وقود الغلاية نتيجة تغيير نسبة المتكاثف المسترجع وذلك بمعرفة درجة حرارة المتكاثف .

النسبة المئوية لاستعادة المتكاثف



الوفر فى وقود الغلاية

درجة حرارة المتكاثف

شكل (9-5) الوفر فى وقود الغلاية لنسب مئوية مختلفة لاستعادة المتكاثف ودرجة حرارة المتكاثف

5 استخدام البخار المتكاثف للتسخين المتقدم

يمكن استخدام البخار المتكاثف من نظام التسخين أو العمليات الصناعية للتسخين المتقدم للعديد من أنظمه السوائل (Fluid systems) فمثلا يستخدم البخار المتكاثف للتسخين المتقدم لمياه التعويض (make up water) واللازمة لتغذية الغلاية أو عمليات توليد البخار يؤدى استرجاع المتكاثف إلى وفر الطاقة حيث انه يخفض احتياجات المياه الخام (raw water) والكيماويات اللازمة لمعالجة مياه تغذية الغلاية . فـي هذه الحالة . يستخدم المتكاثف لمصدر التغذية الساخن غير القابل للتنقل أو لتدفئة المياه الساخنة المنزلية

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي:

$$AES = \left[Q * d * Cp * \left(T_2 - T_1\right) * HY * (1 - HL)\right] / \eta \qquad [5]$$

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوى

Q = volumetric flow rate of condensate , ft^3/hr

= معدل السريان الحجمى للمتكاثف (بوحدة ft^3/hr)

d = density of condensate , Ib/ft^3(62.4 for liquid water)

= كثافة المتكاثف (بوحدة Ib/ft^3) (وتساوى 62.4 للمياه السائلة)

C_P = specific heat of condensate , Btu / Ib – °F (1.0for liquid water)

= الحرارة النوعية للمياه (بوحدة Btu / Ib –° F) (وتساوى 1 للمياه السائلة)

T_1 = current feed water temperature , °F

= درجة الحرارة الحالية لمياه التغذية (بوحدة °F)

T_2 = anticipated feed water temperature , °F

= درجة الحرارة المتوقعة لمياه التغذية (بوحدة °F)

HY = operating hours per year

= عدد ساعات التشغيل فى السنة

HL = fraction of energy loss during heat transfer

=نسبة فقد الطاقة خلال التحويل الحرارى

η = efficiency of boiler providing steam = كفاءة الغلاية

6 - استخدام المتكاثف الوميضى لانتاج بخار دو ضغط منخفض

فى التطبيقات الخاصة باستخدام بخار ضغط منخفض كعارض او مقاوم لبخار ضغط عـــالى فأن هذا سيؤدى إلى وفر فى الطاقة .

وتوضح المعادلة التالية وفر هذه الفرصة

$$FS = (SH - SL/H) \qquad [6]$$

حيث

FS = fraction of flash steam , Ib/Ib steam

= نسبة البخار الوميضى (باوند / باوند بخار)

SH = sensible heat in the condensate at the higher pressure before discharge . (Btu/Ib steam)

= الحرارة المحسوسة للمتكاثف عند الضغط الاعلى قبل التفريغ

(بوحدة Btu/Ib steam) كما في ملحق A جدول (1-A)

SL = sensible heat in the condensate at the lower pressure to which discharge take place , (Btu/Ib steam)

= الحرارة المحسوسة للمتكاثف عند الضغط المنخفض وحتى حدوث التفريغ

(بوحدة Btu/Ib steam) كما في ملحق A جدول (1-A)

H = latent heat in steam at the lower pressure to which the condensate has been discharged , (Btu / Ib)

=الحرارة الكامنة للبخار عند الضغط المنخفض والذى عنده تكاثف البخار

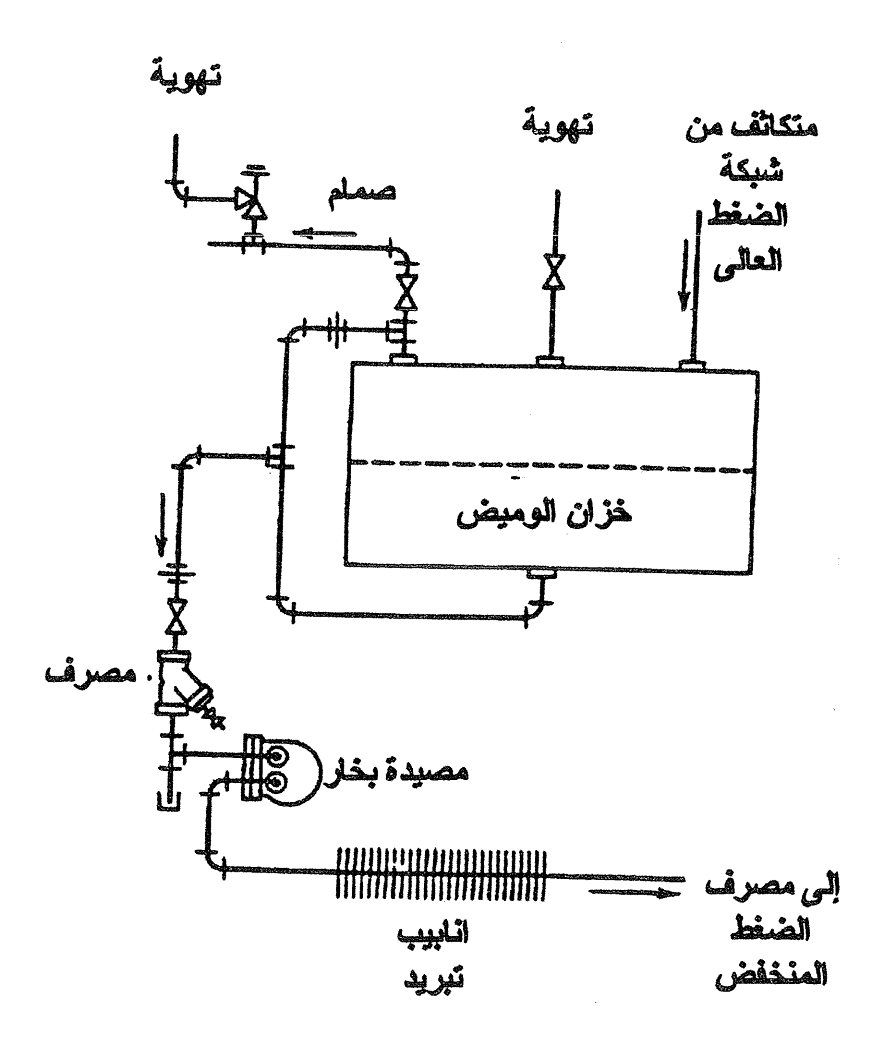
(بوحدة Btu/Ib) كما فىملحق A جدول (1-A)

يمكن أن نحصل على نسبة كتله البخار التى تتحول إلى بخار وميضى ، بخـــزان الوميـــض باستخدام الجداول بحيث يكون معروفا ضغط البخار (قبل التفريغ) وضغط خزان الوميض

الجداول والأشكال التوضيحية

جدول (1-A) خصائص الحرارة الديناميكية للبخار المشبع

شكل (5-10) نظام خزان الوميض



شكل (5-10) نظام خزان الوميض

7- استخدام اقل ضغط بخار

بتخفيض ضغط الغلاية اللازم للتشغيل ستنخفض درجة حرارة الحرق المطلوب لتوليد البخار يلاحظ ان كثير من نظم التسخين والعمليات تكون اكبر من المعتاد (oversized) وتستخدم بخار بضغط عالي جدا .

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تخفيض ضغط البخار المولد

$$AES = (Q * d * DT * HY)/\eta \qquad [7]$$

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوى

Q = volumetric flow rate of steam , ft^3/hr

= معدل السريان الحجمى للبخار (بوحدة ft^3/hr)

d = density of steam , Ib/ft^3

= كثافة البخار(بوحدة Ib/ft^3) وهى تساوى عكس الحجم النوعى من جدول (1-A)

DT = difference between anticipated and current temperature , °F

= الفرق بين درجة الحرارة المتوقعة ودرجة الحرارة الحالية (بوحدة °F)

HY = operating hours per year

= عدد ساعات التشغيل فى السنة

η = boiler efficiency

= كفاءة الغلاية

8- تخفيض طلب البخار

يمكن تخفيض البخار المولد أو المشترى في حالة وجود مصدر حراري ابتدائي آخر متـــاح بالمنشأة .

أن استبدال تسخين مياه العمليات أو السوائل الأخرى عن طريق البخار سوف يخفض الوقود المستخدم للغلاية . أيضا استخدام مبدل حراري بسوائل من البخار في نظم تتبـــع خطـــوط المواسير يمكن أن يخفض طلب البخار المولد .

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

$$AES = [(AS * HS) - (AF * HF)] * HY / \eta \qquad [8]$$

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوى

AS = amount of steam used , Ib/hr

= كمية البخار المستخدم (بوحدة Ib/hr) (تقاس بمعرفة أشخاص المنشأة)

HS = enthalpy of steam based on temperature and pressure , Btu/Ib

= انثالبى البخار على أساس درجة الحرارة والضغط (بوحدة Btu/Ib)

ونحصل عليها من ملحق A جدول (1-A)

AF = amount of substitute fluid used , Ib/hr

= كمية السائل المستبدل المستعمل (بوحدة Ib/hr)

HF = enthalpy of fluid , Btu/Ib

= انثالبى السائل (بوحدة Btu/Ib)

HY = operating hours per year

= عدد ساعات التشغيل فى السنة

η = boiler efficiency

= كفاءة الغلاية

جداول توضيحية

جدول (1-A) خصائص الحرارة الديناميكية للبخار المشبع

٩- تخفيض فقد البخار

عند إهمال المنشآت الصناعية لمنع فقد البخار فان ذلك يؤدى إلى فقد فى الطاقة والمـــال يخفض الوقود المستخدم بالغلاية بالآتي .

- غلق خطوط البخار الدائمة وغير المستخدمة
- خفض التسرب الزائد للبخار

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوى عند تطبيق هذه الفرصة

حيث :

AES = **annual energy saving**

= وفر الطاقة السنوى

SEL = **steam energy loss , MM Btu/yr**

= فقد طاقة البخار (بوحدة MMBtu/yr) من ملحق A جدول (4-A)

LF = **load factor of boiler**

= عامل الحمل للغلاية

HY = **operating hours per year**

= عدد ساعات التشغيل سنويا

η = **boiler efficiency**

= كفاءة الغلاية

جداول توضيحية

جدول (4-A) الفقد الحراري السنوي لكل مصيدة نتيجة تسريب البخار

الباب السادس

استعادة حرارة المعدات / عمليات الإنتاج
وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Process / equipment heat recovery
And Potential of Energy Saving

مقدمه

باستعادة حرارة عمليات الإنتاج ينخفض الوقود المستخدم وتقل تكلفة الإنتاج ونحصل على سريان مثالي لطاقة عمليات الإنتاج ...

فرص ترشيد استخدام الطاقة :

1- المبادلات الحرارية (هواء ساخن للعمليات أو لتدفئة الحيز)

Heat exchangers (Heat air for process or space heating)

2- مياه ساخنة من الحرارة المتبددة من عمليات الإنتاج

(Heat water with process waste heat)

3- استخدام بخار العادم لتسخين عمليات الإنتاج

(Use exhaust steam for process heat)

4- استعادة الحرارة من مكثفات التبريد

(Recover heat from refrigeration condensers)

وفيما يلي توضيح لكل فرصة ترشيد

1-المبادلات الحرارية (هواء ساخن للعمليات أو لتدفئة الحيز)

يستخدم التدفق الدافئ أو سوائل التفريغ بنظم التبريد للتسخين المتقدم لتغذية سوائل العمليات . يمكن استخدام هذه الحرارة المتبددة لتسخين عملية أخرى أو تدفئة حيز .....

تستخدم الحرارة المستعادة من المياه الساخنة المتبددة أو الحرارة المعاد تدويرها (recycled hot) ، أو هواء عادم عملية التبريد (cold process exhaust air) بالعلميات ، أو تدفئة الحيز أو تبريده ، أو التسخين المتقدم لهواء التعويض ، أو المياه المنزلية .... تستخدم أيضا الحرارة المستعادة من ضواغط الهواء ، أو المجففات بالهواء المضغوط ، أو المحولات ... لوفر الطاقة عن طريق نفس التطبيقات المذكورة أعلاه.

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

$$AES = (CFH * DA * C_P * DT * RF * HY)/\eta \qquad [1]$$

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

CFH = volumetric flow rate of heat waste fluid, ft^3 / hr

= معدل السريان الحجمي للسائل المتبدد الحرارة (بوحدة ft^3/hr)

DA = density of fluid, Ib / ft^3

كثافة السائل (بوحدة Ib / ft^3) (للمياه DA = 62.4)

{من ملحق A جدول (2-A)}

C_P = specific heat of fluid, Btu / Ib – °F

= الحرارة النوعية للسائل (بوحدة Btu / Ib – °F)

(للهواء C_P = 0.24 & للمياه C_P = 1.0)

DT = temperature difference for heat exchange, °F

= اختلاف درجة الحرارة للتبادل الحراري (بوحدة °F)

RF = recovery factor for heat exchanger

= عامل الاستعادة للمبادل الحراري (نحصل عليه من الصانع)

HY = operating hours per year

= عدد ساعات التشغيل في السنة

η = efficiency of system for which target air is used

= كفاءة النظام والتي تستخدم الهواء

2- مياه ساخنة من الحرارة المتبددة بعمليات الإنتاج

للعمليات الناتج عنها حرارة متبددة وتحتاج الى تسخين متقدم للمياه فانـــه يمكـــن عندئـــذ الاستفادة من هذه التوصية ، عموما فان الحرارة المتبددة من عمليـــات محـــددة تســـتخدم للتسخين المتقدم للمياه والاستفادة منها في أغراض متعددة بالمنشأة .

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

$$AES = (GPH * CF * C_P * DT * RF * HY) / \eta \qquad [2]$$

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

GPH = flow rate of water , gal / hr

= معدل سريان المياه (بوحدة gal/hr)

CF =conversion factor , 8.345 Ib / gal

= عامل تحويل (ويساوى 8.345 Ib / gal)

C_P = specific heat of water , 1 Btu / Ib – F°

= الحرارة النوعية للمياه (1 Btu / Ib – F°)

DT = temperature difference for heat exchange , F°

= اختلاف درجة الحرارة للتبادل الحرارى (بوحدة F°)

RF = Recovery facter for heat exchanger

= عامل الاستعادة للمبادل الحرارى

HY = operating hours per year

= ساعات التشغيل في السنة

η = efficiency of system for which target water is used

= كفاءة النظام والتى يستخدم الهواء

3 ـ استخدام بخار العادم لتسخين عمليات الإنتاج

يمكن تخفيض تكلفة الوقود بالغلاية عند تسخين العمليات باستخدام :

البخار الوميضى ، البخار الموجود بعادم الآلة ، البخار الناتج من المكثفات ، وأيضا المتكاثف الناتج من عملية التقطير ..

نحصل على مصدر حرارة من أى من هذه الطرق .

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوى عند تطبيق هذه الفرصة

AES = PH = * EC * HY [3]

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوى

PH = pound per hours of steam / condensate , Ib / hr

= (Ib / hr كمية البخار باوند لكل ساعة من المتكاثف أو البخار (بوحدة

EC = energy content of steam at specific temperature and pressure , Btu/Ib

= (Btu / Ib محتوى الطاقة للبخار عند ضغط ودرجة حرارة محددة (بوحدة

راجع ملحق A جدول (1-A) (Thermo-Table)

HY = operating hours per year (hr / yr)

= (hr / yr ساعات التشغيل في السنة (بوحدة

4- استعادة الحرارة من مكثفات التبريد

يمكن استعادة الحرارة المنطلقة من ضواغط التبريد (refrigeration compressors) واستخدامها في تطبيقات متعددة . حيث يمكن استخدام الحرارة المتبددة للتسخين المتقدم لمياه التعويض للعمليات أو التدفئة .

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

$$AES = AUH - AEU$$

$$AES = \left\{ TON * LF * \left[1 + \frac{1}{COP} \right] * CF * HY \right\} - \left\{ \left[\frac{CE}{COP_1} - \frac{CE}{COP_2} \right] * HY \right\} \qquad [4]$$

حيث :

AES =annual energy saving = وفر الطاقة السنوى

AUH = annual usable heat , Btu

= الحرارة القابلة للاستعمال سنويا (بوحدة Btu)

AEU = added electrical use , Btu

= الاستخدامات الكهربائية المضافة (بوحدة Btu)

TON = tons of refrigeration , Tons

= طن تبريد (بوحدة Tons)

LF = Load factor of performance of refrigeration system

= عامل الأداء لنظم التبريد

COP = coefficient of performance of refrigeration

= معامل الاداء لنظم التبريد

CF = conversion factor ,tons of refrigeration to Btu /hr 12000

= عامل التحويل ، من طن تبريد إلى Btu / hr، (ويساوى 12000)

HY = operating hours per yea = عدد ساعات التشغيل سنويا

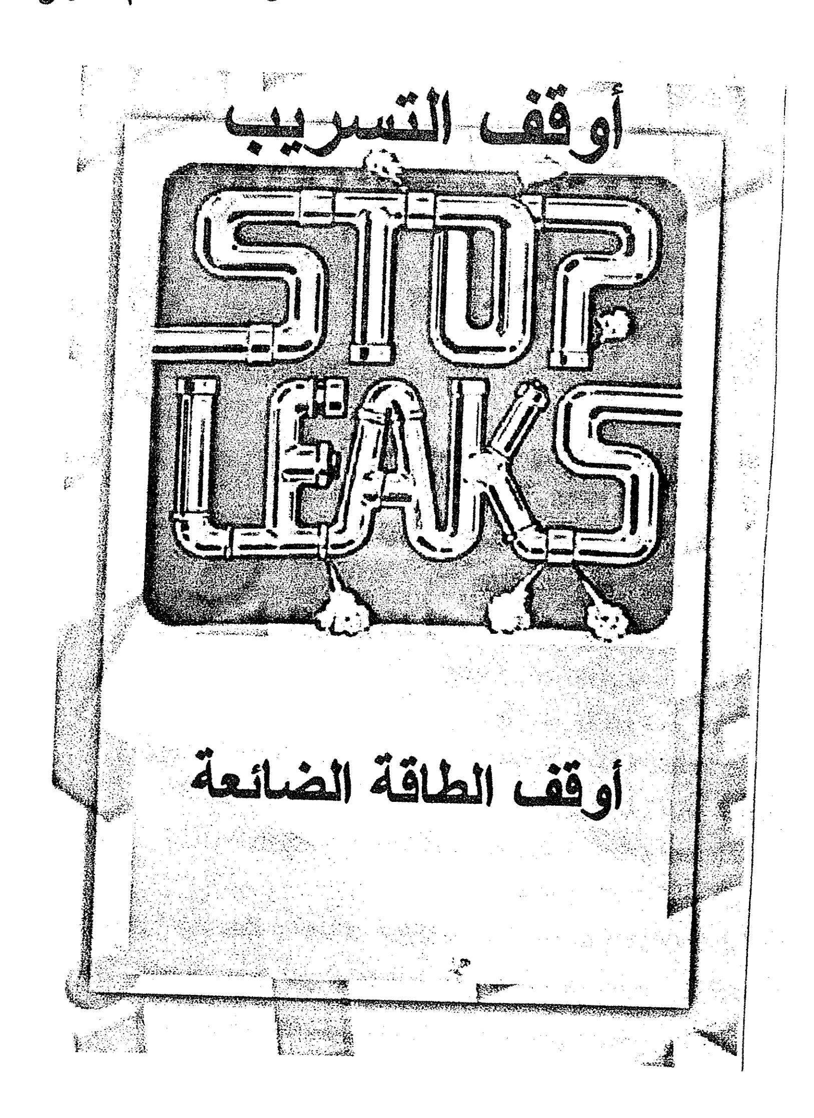
CE = cooling affect , Btu / hr = TON *LF *CF

= (Btu / hr تأثير التبريد (بوحدة

COP_1= existing system coefficient of performance =معامل الأداء للنظام الحالي

COP_2 = anticipated system coefficient of performance

= معامل الأداء للنظام المتوقع



الباب السابع
نظم تدفئة و تهوية و تكييف الهواء
و فرص ترشيد استخدام الطاقة
HVAC Systems and Potential of Energy Saving

مقدمة

تعتبر نظم تدفئة و تهوية و تكييف الهواء [Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) systems] هى الرئة و المتنفس للمنشآت الصناعية و التجارية والسكنية. والغرض من استخدام هذه النظم هو توفير الهواء الكافي عند درجة الحرارة والرطوبة المناسبين لجعل الأشخاص في حالة راحة والتخلص من الهواء المحيط الفاسد والغير مناسب. أو تنظيم الجو المحيط لتهيئة سبل الراحة لشاغلي الحيز المكيف. و تشغيل النظام عند أقصى كفاءة يؤدى إلى اقل تكلفة تشغيل

تعريفات

- **تكييف الهواء Air Conditioning**

يقوم تكييف الهواء بتهيئة الهواء الملائم و المناسب في منطقة أو حيز محدد. و يتم ذلك عادة عن طريق التحكم في درجة حرارة الحيز، ورطوبة ، وحركة الهواء ، بالإضافة إلى ترشيح الهواء وتنقيته

- **تكييف الهواء فى الصيف Summer air conditioning**

عملية معالجة الهواء فى وحدة مصممة لتفى باشتراطات الحيز المكيف عندما يتعرض هذا الحيز لكسب حرارى

- **تكييف الهواء في الشتاء Winter air conditioning**

عملية معالجة الهواء فى وحدة مصممة لتفى باشتراطات الحيز المكيف عندما يتعرض هذا الحيز لفقد حراري خلال فصل الشتاء

- **تكييف الهواء للراحة Comfort air conditioning**

استخدام تكييف الهواء لتهيئة وسط يتناسب و يتلاءم مع الراحة البشرية

- تكييف الهواء للإسكان Residential air conditioning

استخـدام تكييـف الهـواء لتهيئـة وسـط مريـح و مناسـب و ملائم في المنازل و المباني السكنية .

- تكييف الهواء في الصناعة Industrial air conditioning

أثناء عملية معالجة في وحدة صناعية مصممة لتفي باشتراطات صناعية معينة، مثل الصناعات الغذائية و الدوائية و الكيميائية و البترولية.

وظائف تكييف الهواء في الصناعة هي :

1- التحكم فى مستوى الرطوبة أو النداوة فى المواد الهيدروسكوبيه

2- تنظيم معدل التفاعلات الكيميائية و الكيمياء الحيوية

3- تحديد التغيرات فى حجم المواد المصنوعة بدقة نتيجة عمليات التمدد والانكماش الحراريين

4- إعداد هواء نقى ونظيف ومرشح يلائم التشغيل الخالي من المتاعب وإنتاج مواد عالية الجودة

- تكوين ستارة هواء (Air curtain)

تدفق متواصل من الهواء يجرى إمراره رأسيا بواسطة مروحة عبر مدخل أو فتحـة باب يوصل إلى حيز مبرد أو مكيف . الغرض منها هو الاستغناء عن وجود وسـيلة لغلق الباب أتوماتيكيا ، و تقليل فقد الحرارة عند فتح الباب لفترة طويلة نسبيا .

تحديد سعة التبريد (Cooling Capacity)

يتم التبريد عن طريق نقل الطاقة الحرارية من داخل الحيز (غرفة إعاشة – صالة مصنع ..) الى خارجه بواسطة جهاز تكييف الهواء ،وتقاس الطاقة الحرارية بوحدة الحرارة البريطانية Btu [1] وتقاس سعة التبريد أو السعة الحرارية بوحدة Btu/h وتستخدم أيضا وحدة " طن تبريد " (Ton of refrigeration) والتى تعرف بأنها :

- سعـــة التبريد لمجموعة وحده تبريد تحت الظروف القياسية أو أي ظروف تشغيل أخرى منصوص عليها وهى القدرة على نقل 12000 Btu في ساعة واحدة ،أي أن جهاز تكييـــف الهواء ذي قدرة 1.5 طن يكون قادرا على نقل 18000 Btu / h

تحدد سعة التبريد تبعا لمساحة الحيز المراد تبريده (نحصل على مساحة الحيز من حـــاصل ضرب طول وعرض أرضية الحيز) ويوضح جدول (1-7) سعة التبريد تبعا لمساحة الحـــيز المراد تبريده وتقيم كفاءة أجهزة التكييف باستخدام نسبة كفـــاءة الطاقـــة EER (Energy Efficiency Ratio) عند درجة حرارة واحدة ،وذلك من المعادلة :

$$EER = \frac{\text{Btu of cooling}}{\text{watt} - \text{hr of electric energy input}} = \frac{\text{Btu}}{\text{watt} - \text{h}}$$

$$= \frac{\text{Btu / hr (سعة التبريد)}}{\text{watt (قدرة المكيف)}}$$

عند حساب المتوسط الوزنى (Weighted average) للنسبة EER لمدى درجات الحرارة الحرارة الخارجية لموسم عندئذ تصبح هذه النسبة (Season Energy Efficiency Ratio) SEER والتي تكون حوالي 10

---

(1) وحدة الحرارة البريطانية (British thermal unit): هى كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة بـــاوند واحد من الماء درجة فهرنهيتيه واحدة ، عند درجة 60 فهرنهيتيه وتحت ضغط 30 بوصة من الزئبق تســاوى 1055.6 جول أو 0.252 كيلو كالورى .

يوضح جدول (7-1) سعة التبريد (أو السعة الحرارية) تبعا لمساحة الحيز المراد تكييفه .
ويوضح جدول (7-2) سعة التبريد لبعض أنواع مكيفات الهواء

جدول (7-1) سعة التبريد تبعا لمساحة الحيز المراد تكييفه

مساحة الحيز (m2) (متر مربع)	مساحة الحيز (Ft 2) (قدم مربع)	سعة التبريد (Btu / h)
9-23	100-250	5000-6000
23-37	250-400	6000-8500
37-51	400-550	8500-11000
51-81	550-875	11000-15000
81-111	875-1200	15000-19000
111-148	1200-1600	19000-24000
148-167	1600-1800	24000-27000
167-260	1800-2800	27000-33000

جدول (7-2) سعة التبريد لبعض أنواع مكيفات الهواء

نوع جهاز تكييف الهواء	سعة التبريد
مكيف الغرفة (النافذة) (Window)	12500-24000 Btu/h (9000 Btu/h)
الوحدة المنفصلة الصغيرة – Mini) Split)	18000-30000 Btu/ h/ (9000 Btu/h)
الوحدة المنفصلة الكبيرة (Split)	36000-60000 Btu / h
الوحدة التي تعمل بنظام الماء المبرد (Chillers)	2 ton –360 ton

1Btu = 1056 Joule
1 HP = 746 Watt = 2545 Btu / h
1 KWH = 3415 Btu

مثال (1)

احسب معامل كفاءة الطاقة (EER) لأنواع المكيفات الآتية :

(1) السعة الحرارية 227800 Btu / h قدرة 24kw

(2) السعة الحرارية 109000 Btu / h قدرة 12kw

(3) السعة الحرارية 42000 Btu / h قدرة 4.2kw

(4) السعة الحرارية 24000 Btu / h قدرة 2.4kw

(5) السعة الحرارية 7000 Btu / h قدرة 0.84kw

الحل

مسلسل	السعة الحرارية Thermal capacity (Btu / h)	القدرة kw	معامل كفاءة المكيف(EER) (Btu / h) /Kw
1	227800	24	9.49
2	109000	12	9.08
3	42000	4.2	10
4	24000	2.4	10
5	7000	0.84	8.33

مثال (2)

مكيف هواء 50 طن ، متوسط الحمل الكهربي 8 كيلو وات

احسب النسبة SEER ؟

الحل

$$SEER = \frac{Btu.h}{watt}$$

$$= \frac{(5\ tons)\ (12000\ Btu/h/ton)}{(8kw)\ (1000\ w/kw)}$$

$$= \frac{60000\ Btu}{8000\ wh} = 7.5\ Btu/wh$$

مبرد المياه (Chiller)

تقاس كفاءة المبردات بمعامل الأداء COP (Coefficient of performance)

وهى النسبة بين الحرارة المزالة بواسطة مجموعة التبريد وبين الشغل المستنفذ علـــى أن يقاس كلاهما لنفس الفترة الزمنية وبنفس الوحدات ، عموما يعـــرف معـــامل الأداء تبعـــا للمعادلة الآتية :

$$COP = \frac{(\text{heat absorbed by the evaporator})}{[(\text{heat injected by the condenser}) - (\text{heat absorbed by the evaporator})]}$$

$$= \frac{(\text{الحرارة الممتصة عن طريق المبخر})}{[(\text{الحرارة الداخلة عن طريق المكثف}) - (\text{الحرارة الممتصة عن طريق المبخر})]}$$

تعتمد كفاءة المبرد على نوع الضاغط (Compressor)المستخدم بالمبرد ،وعلى حالة الجو وعلى المياه المبردة المستخدمة .

هذا المعامل يكون حوالي 2.5 للمبردات الصغيرة ويصل إلى 7.0 لمبردات الضواغط الكبـــيرة من الأنواع : المياه المبردة (water cooled)، الطرد المركزي (Centrifugal) أو اللولبي (Screw) . أما في حالة مبردات الامتصاص (Absorption chillers) فـــان معامل الأداء يتراوح بين 0.4 & 1.2

وتقاس كفاءة المبرد أيضا باستخدام العلاقة :

$$EER = COP * 3.412 \text{ Btu / wh}$$

مثال (3)

لمبرد 100 طن ، معامل الأداء يساوى 3.5 أحسب الحمل الكهربي ؟

الحل

$$EER = \frac{\text{cooling capacity}}{\text{elecctrical load}} = \frac{\text{سعة التبريد}}{\text{الحمل الكهربي}}$$

$$\text{الحمل الكهربي} = \frac{\text{سعة التبريد}}{EER} - \frac{\text{سعة التبريد}}{COP * 3.412\ Btu / wh}$$

$$= \frac{(100\ tons)\ (12000\ Btu / hr / ton)}{(3.5 * 3412\ Btu / kwh)} = 100.5$$

مستويات الرطوبة و درجة الحرارة

يوضح جدول (3-7) مستويات الرطوبة و درجة الحرارة (داخل المبنى) المقترحة في فصل الشتاء .

ويوضح جدول (4-7) درجات الحرارة القياسية المقترحة لموسم التدفئة

جدول (3-7) مستويات الرطوبة ودرجة الحرارة (داخل المبنى) المقترحة في فصل الشـــتاء والبرودة

لمنشآت التجارية	فترات التشغيل	
	أقل رطوبة نسبية (Minimum relatively Humidify)	درجة الحرارة (°F) (1) (Dry bulb temperature)
المكاتب	55 %	78
الممرات	غير متحكم فيها	غير متحكم فيها
كافتيريا	55 %	75
قاعة المحاضرات	50 %	78
حجرات الحاسب الآلى	حسب الاحتياج	75
اللوبى (قاعة انتظار)	60 %	82
مكاتب الطبيب	55 %	78
حجرات التزين	–	80
حجرات المعدات والمخازن	–	غير متحكم فيها
الجراجات	–	–
محلات التجزئة	فترت التشغيل	
	الرطوبة النسبية (Relative Humidity)	درجة الحرارة(°F) (Dry Bulb Temperature)
حجرات الإدارة	55 %	80
السوبر ماركت	55 %	78
محلات الأدوية	55 %	80
محلات اللحوم	55 %	78
محلات الكساء	55 %	80
محلات المجوهرات	55 %	80
الجراجات	–	–

Source : Guidelines for saving energy in existing building – building owners and operators manual ECM –1

(1) إلا في حالة استخدام نظم إعادة التدفئة (reheat) . عند استخدام هذا النظام فان حالة الحيز الداخلي تحفظ عند أقل مستويات حتى يمكن تخفيض كمية التدفئة . في حالة عدم الاحتياج للتبريد يوصى بتغيير درجة الحرارة المقترحة من 78 °F الى 74 °F

جدول (4-7) درجات الحرارة القياسية المقترحة لموسم التدفئة(درجة فهرنهيت °F)[1]

المنشـــآة		A (Dry Bulb °F) أقصى زمن لانشغال الحيز	B (Dry Bulb °F) زمن عدم انشغال الحيز(توقف)
المباني الإدارية/ السكنية/ المدارس	– مكاتب– فصول المدارس–المساكن	68	55
	– الممرات	62	52
	– المخازن المغلقة غير المستخدمة	50	50
	– كافيتريا	68	50
	– حجرات الأجهزة الميكانيكية	55	50
	– المخازن المشغولة & مبنى الألعاب الرياضية	55	50
	– قاعة المحاضرات	68	50
	– حجرة الحاسب الآلي	65	حسب الطلب
	– اللوبي (قاعة الانتظار)	65	50
	– مكاتب الأطباء	68	58
	– حجرات التزيين	65	55
	– الجراجات	بدون تكييف	بدون تكييف
محلات التجزئة	– حجرات الإدارة	65	55
	– السوبر ماركت	60	50
	– محلات الأدوية	65	55
	– محلات اللحوم	60	50
	– محلات الكساء	65	55
	– محلات المجوهرات	65	55
	– المخازن	بدون تكييف	بدون تكييف
دور العبادة			< 24 h / > 24 h
	– حجرات الاجتماع	68	55 / 50
	– صالات العبادة	65	55 / 50
	– باقي الأماكن	مثل المباني المكتبية	50 / 40

Source: Guidelines for saving energy in existing building – building owners and operators manual ECM –1

(1) معادلة التحويل من درجة فهرنهيت (°F) الى درجة مئوية (°C) هى (°C=5/9 (°F - 32)

فرص ترشيد نظم تدفئة و تهوية و تكيف الهواء

1 – تقليل الارتشاح — Reduce infiltration

2 – استعادة الحرارة من مياه الصرف — Recover heat from waste water

3 – استعادة الحرارة من نظم التبريد — Recover heat from refrigeration systems

4 – تقليل الهواء المسخن أو المبرد — Reduce air to be heated or cooled

5 – استخدام مراوح تقليب أو تشتيت لتحسين مرور الهواء
Use destratification fans to improve air circulation

6 – استخدام هواء العادم الساخن مباشرة خلال موسم البرد
Direct hot process exhaust air outdoors during the cooling season

7 – تنظيف أو استبدال مرشحات الهواء دوريا
Clean or replace air filters regularly

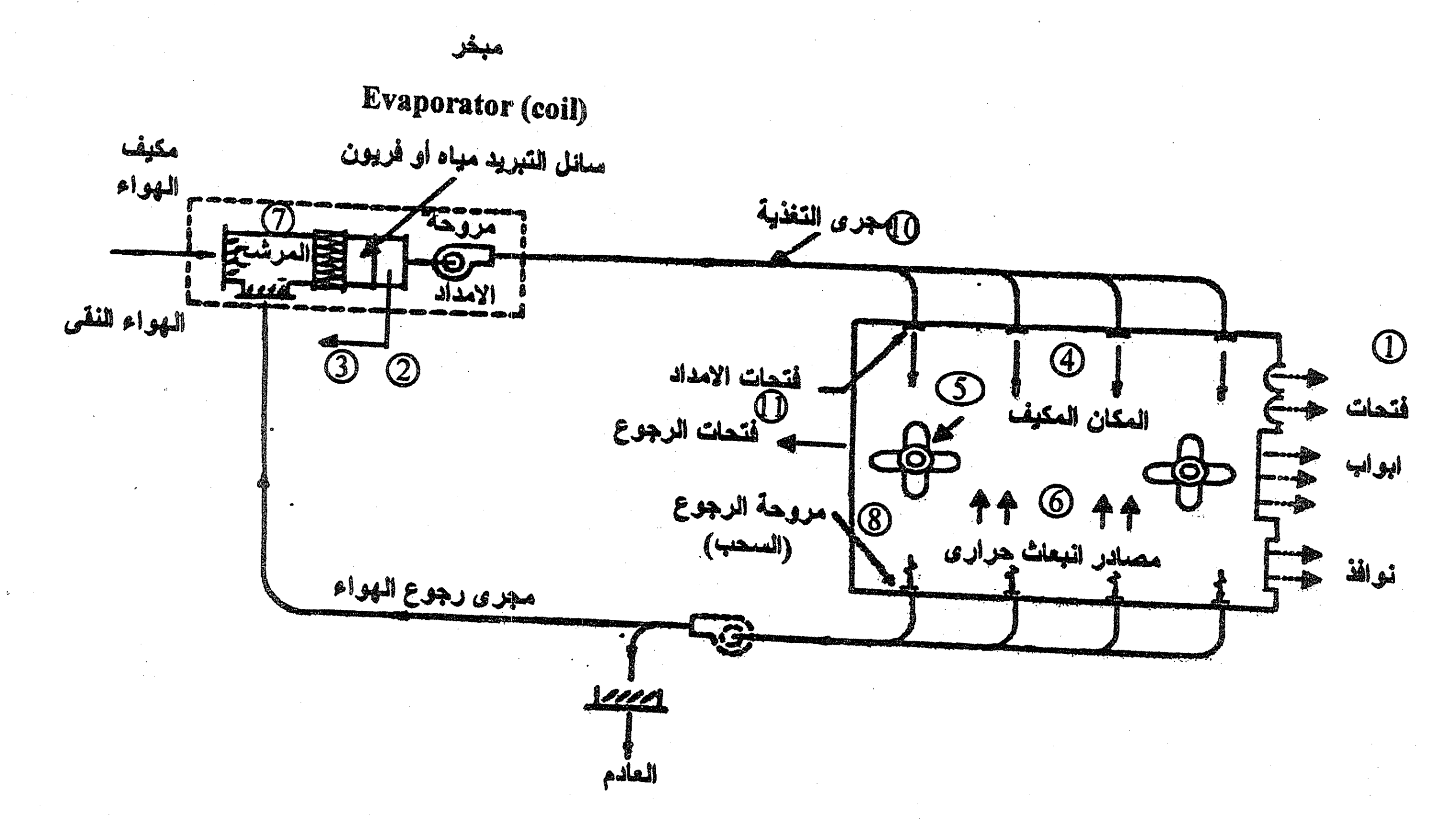
8 – التحكم المركزي في مراوح السحب — Centralize control of exhaust fans

9 – الضبط المسبق لدرجة الحرارة — Temperature setback

10 – زيادة المادة العازلة أو تغييرها — Insulation upgrade or replacement

11 – استخدام السمك المناسب لعزل الحوائط و الأسقف و الأبواب
Use proper thickness of insulation

يوضح شكل (7-1) تمثيل لمكونات نظام نقل وتوزيع الهواء ومواضع فرص ترشيد استخدام الطاقة



اماكن فرص ترشيد استخدام الطاقة .... 1 , 2 , 3 ,4

شكل (1-7)المكونات الرئيسية لنظام نقل وتوزيع الهواء

وفيما يلي توضيح لكل فرصة ترشيد

1 - تقليل تسرب الهواء (الارتشاح)

يؤدى تسرب الهواء خلال المباني إلى فقد في الطاقـــة . لمنع أو تقليل تسرب الهواء اتبع الآتي :

- اغلق الأبواب و الشبابيك في الأماكن المبردة أو الدافئة
- ركب أجهزة حساسة (sensors) للتحكم فى فتح الأبواب
- اصلح أو بدل الأبواب والشبابيك الغير سليمة
- ضع مانعات تسرب الهواء (seals) بالأبواب (استخدم معاجين أو شرائط لاصقة لمقاومة التسرب)
- استخدم ستائر هواء (air curtains)
- سد أية فتحات فى الحوائط و الأسقف
- راعى الدقة و الأصول الفنية الخاصة بالتركيبات و التحميل و التعليق

وفيما يلى معادلة وفر الطاقة السنوي الناتج عند تقليل التسرب

$$AES = \{ CFH * C_P * DA * DT * HY * DEF \} / \eta \qquad [1]$$

حيث:

CFH = average air flow rate through the opening, cubic feet/minute CFM, (obtained by velometer traverse of opening, or estimated using equations for air infiltration)

متوسط معدل سريان الهواء خلال الفتحة (بوحدات CFM)

C_P = specific heat of air (0.24 Btu/ Ib -F°)

* الحرارة النوعية للهواء

DA = average air density, Ib/ft^3

متوسط كثافة الهواء من جدول (7-A)

---

* الحرارة النوعية : هى كمية الحرارة اللازمة لتغير درجة حرارة كيلو جرام واحـــد مـن المادة درجة مئوية واحدة

HY = hours per year infiltration takes place

عدد ساعات تسرب الهواء بالمكان سنويا

DEF = efficiency of strip doors

كفاءة مقاومة الأبواب للتسرب

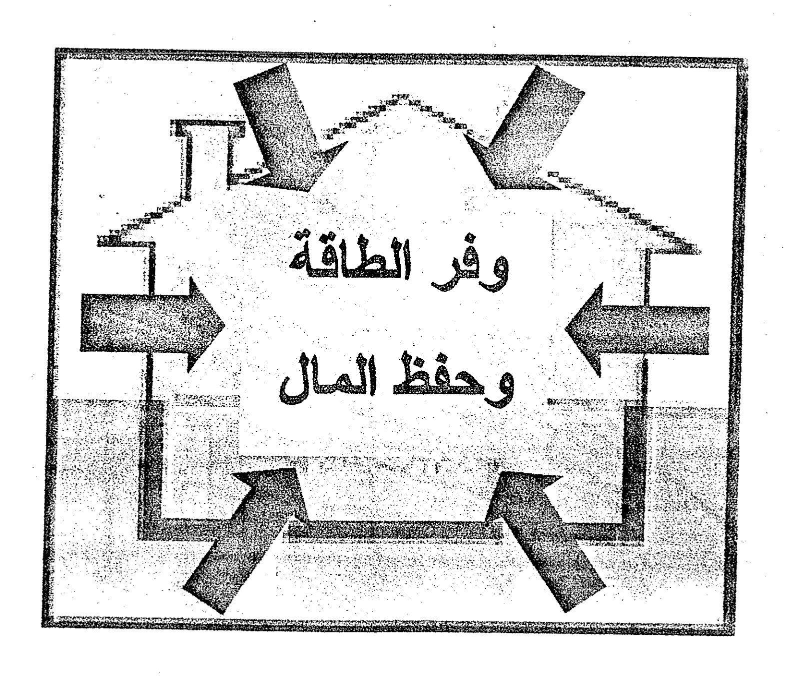
η = efficiency of heating / cooling system

كفاءة نظام التبريد / التدفئة (عادة تفرض)

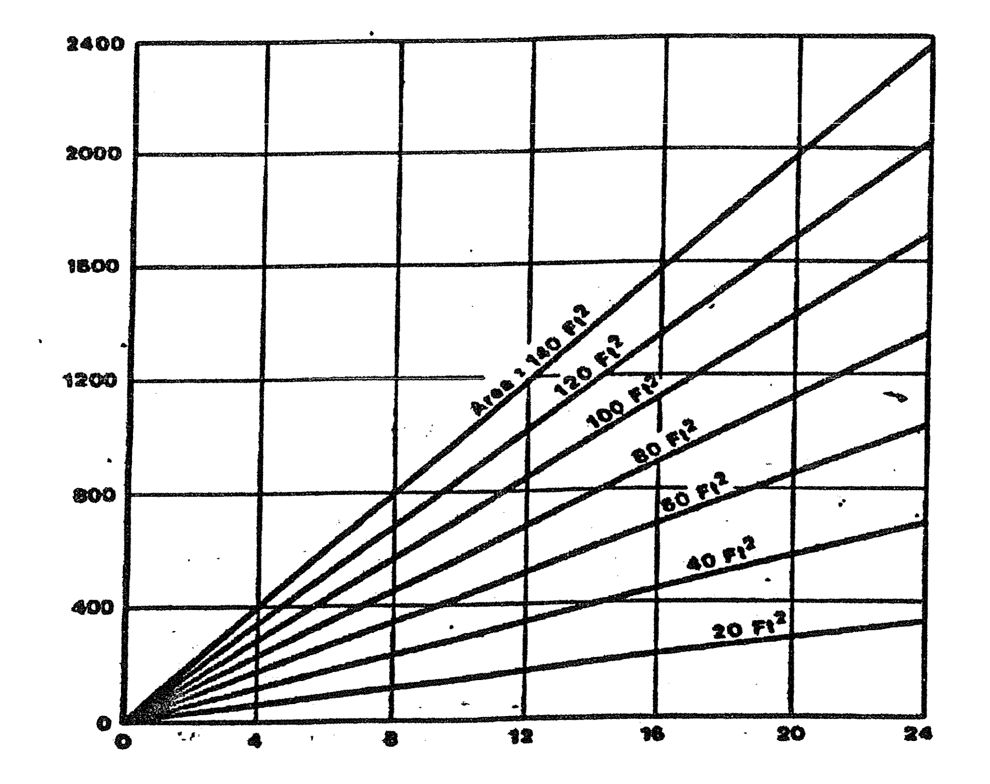
DT = Temperature difference (°F)

فرق اختلاف درجة الحرارة بين الوسط المكيف والجو الخارجى

يمكن باستخدام شكل (2-7) حساب الفقد الحراري السنوي نتيجة فتح الأبواب بدلالـــة عـــدد ساعات الفتح ومساحة الحيز المفتوح



الفقد الحرارى السنوى (Million Btu / y)



زمن فتح الباب (ساعة / اليوم)

شكل (2-7) الفقد الحرارى السنوى نتيجة فتح الابواب

بدلالة المساحة

2 - استعادة الحرارة من مياه الصرف

يمكن استخدام درجة الحرارة المرتفعة لمياه الصرف لتجهيز وسيط تسخين متقدم (preheating) للموائع المختلفة. تتبدل الاستعادة النموذجية للحرارة من المياه الساخنة بالمنازل او من مياه الصرف في حيز التسخين.

$$AES = \{ VF * C_P * DW * (T_0 - T_1) * HY \} / \eta \qquad [2]$$

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة.

حيث:

VF = volumetric flow of hot water , CFM
التدفق الحجمى للمياه الساخنة (بوحداتCFM)

Cp = specific heat of water, 1 Btu / Ib – F° = الحرارة النوعية للمياه

DW = weight density of water, 62.4 Ib / ft^3 = الكثافة الوزنية للمياه

T_o = Temperature of exiting water, °F = درجة حرارة مياه المخرج

T_1 = Temperature of entering water, °F = درجة حرارة مياه المدخل

HY = Hour per year hot water is available and can be used for space heating.
عدد ساعات السنة التى تكون فيها المياه الساخنة متاحة لاستخدامها لحيز التسخين=

η = efficiency of water heating system = كفاءة نظام تسخين المياه

3 - استعادة الحرارة من نظم التبريد

يعتبر تصريف الحرارة من نظم التبريد عبارة عن مصدر للطاقة يمكن استخدامها لتسخين متقدم للموائع في نظم التسخين وفى العمليات. اعتمادا على كل من طلب او حمل الحرارة أو العمليات ومكان نظم التبريد ودرجة حرارة التصريف فأن استعادة الحرارة تكون مناسبة.

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

$$AES = TON * LF * (1+ 1/COP) * CF * HY \qquad [3]$$

حيث:

TON = tons of refrigeration = طن تبريد*

LF = average load factor of refrigeration units

= متوسط عامل الحمل لوحدات التبريد

COP = coefficient of performance of refrigeration system

= عامل أداء نظام التبريد

CF = conversion factor from ton to BTU / hr , 12000

= BTU / hr عامل التحويل من الطن إلى

HY = operating hours per year

= عدد ساعات التشغيل فى السنة

---

*طن تبريد : سعة التبريد لمجموعة أو وحدة تبريد تحت الظروف القياسية أو أي ظروف تشغيل أخرى منصوص عليها.

4 – تقليل الهواء المسخن أو المبرد

الإهمال في نظم التبريد أو التسخين يسبب تهوية زائدة وهذا بدوره يؤدى إلى فقد الطاقـــة. يعمل النظام عند شروط التصميم اعتمادا على جودة الهواء ونظام التهوية.

ولخفض الفقد فى الطاقة يفضل اتباع الآتي :

- تقليل هواء التهوية إلي اقل مستوى أمان.
- تقليل تصريف المباني وبالتالي تعويض الهواء.
- اغلق منظم خانق الهواء* (air damper) بالأبواب خلال دوره الحر المرتفـع أو البرد المنخفض .

$$AES = \frac{CFH * C_P * DA * (TA-TW) * PD * HY}{\eta} \quad [4]$$

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

حيث

CFH = air flow rate, CFM = معدل تدفق الهواء

Cp = specific heat of air, 0.24 BTU / Ib – F° = الحرارة النوعية للهواء

DA = air density, Ib / ft^3 = (2-A) جدول A كثافة الهواء من ملحق

TA = ambient temperature, °F = درجة الحرارة المحيطة

TW = average outdoor winter temperature, °F متوسط درجة الحرارة الخارجية فى الشتاء

PD = fractional decrease in exhaust operating hours during heating season

= الانخفاض الجزئي فى عدد ساعات تشغيل العادم خلال موسم التسخين

HY = exhaust operating hours during heating season

عدد ساعات تشغيل العادم خلال موسم التسخين

η = heating system efficiency = كفاءة نظام التسخين

* منظم خانق : عبارة عن عدة ألواح او رقائق قابلة للتحريك ومتصل بعضها مع بعـض. ويسـتخدم لتنظيـم الهواء المنساب فى ملف التبريد بالهواء او فى مخرج الهواء (عادة يستخدم المنظم لتجديد هواء الحيز بنسـب معينة عندما يصبح هواء هذا الحيز غير مناسب صحيا).

5 -استخدام مراوح تقليب أو تشتيت لتحسين مرور الهواء

يمكن للحرارة المرتفعة المنصرفة من العمليات أن تصعد إلى أسقف المصانع وتحدث اختلاف في درجة الحرارة المطلوبة مسببة سخونة زائدة للحيز المطلوب بالمصنع. يحدث هذا للمباني المحتوية على أسقف أعلى من 15 قدم. و تستخدم مراوح تقليب أو تشتيت أو أي نوع آخر لتحسين دخول ومرور الهواء وبذلك تقل تكاليف التسخين.

يتم تحديد عدد المراوح المطلوبة تبعا للمعادلة

$$FN = \frac{BV}{FV}$$

حيث

FN = No. of fans = عدد المراوح

BV = building volume, ft^3 = حجم المبنى

FV = volume of air moved per fan = حجم الهواء المتحرك لكل مروحة

وعليه تنخفض درجة حرارة السقف وبذلك تقل الحرارة المفقودة تبعا للمعادلة الآتية :

$$AES = \{U * A * DT * HY\} / \eta \qquad [5]$$

حيث :

U = heat transmission value of roof, BTU / hr – ft^2 – °F
= قيمة انتقال الحرارة من السقف

A = roof area affected, ft^2 = مساحة السقف المتأثرة

DT = anticipated temperature difference between ceiling and floor, °F
= الاختلاف المتوقع لدرجة الحرارة بين السقف والأرض

HY = operating hours per year = عدد ساعات التشغيل في السنة

η= heating system efficiency = كفاءة نظام التسخين

6- استخدام هواء العادم الساخن الخارجي مباشرة خلال موسم البرد

يمكن لهواء العادم من العمليات والذي درجة حرارته أعلى من درجـــة الحـــرارة المحيطـــة بالمصنع، خلال موسم البرد، أن يؤدى إلى تشغيل نظام التكييف لخفض درجة الحرارة إلـــى المستوى الأمثل. عمليا هذا العادم يستخدم خارج المبنى لتسخين متقدم للموائع.

بتطبيق هذه الفرصة يحدث وفر سنوى للطاقة تبعا للمعادلة الآتية :

$$AES = \{ HP * CF * ALF * CHY * HR\} / (COP * \eta) \qquad [6]$$

حيث:

HP = compressor horse power = قدرة الضاغط بالحصان

CF = conversion factor, 2544.4 BTU / hp – hr = عامل التحويل

ALF = average load factor = متوسط عامل الحمل

CHY = number of hours compressor is used during cooling season
عدد ساعات تشغيل الضاغط خلال موسم البرد=

HR = fraction of output energy recoverable as heat
جزء من طاقة المخرج يمكن استردادها كحرارة =

COP = cooling system coefficient of performance
كفاءة أداء نظام التبريد=

η = compressor efficiency = كفاءة الضاغط

7 – تنظيف أو استبدل مرشحات الهواء دوريا

المرشحات غير النظيفة تشارك في هبوط الضغط غير المرغوب وتسبب زيادة فـــي حمـل التدفق هذه الزيادة في الطلب أو الحمل تزيد تكاليف الطاقة المطلوبة لتشغيل النظام .

المعادلة التالية توضح الوفر السنوي للطاقة الناتج من صيانة او تغيير المرشحات

$$AES = \{ CFM * (SPD_C - SPD_A) * K_1 * K_2 * HY \} / \eta \qquad [7]$$

حيث:

CFM	=	Air flow rate, CFM = معدل تدفق الهواء
SPD_c	=	Current static pressure drop across filters (inches of water)
	=	الانخفاض فى الضغط الاستاتيكى الحالي خلال المرشحات (بوصة)
SPD_a	=	Anticipated average static pressure drop across filters, (from manufacturer's data) , (in.H_2O)
	=	الانخفاض المتوقع فى متوسط الضغط الاستاتيكى خلال المرشحات
K_1	=	Conversion factor , 0.0771 BTU /ft – Ibf = عامل تحويل
K_2	=	Conversion factor , 0.6708 Ibf / (ft^2–in. H_2O) = عامل تحويل
HY	=	Operating hours per year = عدد ساعات التشغيل في السنة
η	=	Efficiency = الكفاءة

8 - التحكم المركزي في مراوح العادم للتأكد من إيقافها ، أو وضع برنامج للتأكد من إيقافها يدويا

تشارك مراوح العادم المستخدم في التطبيقات في مفقودات الطاقة خاصة إذا كـــان مقــاس المروحه لا يناسب استخدام العادم التحكم في نظم العادم لبعض الأغراض يؤدى إلى وفـــر فى تدفق الهواء والذي يعتبر مفقودات .إذا تم تسخين أو تبريد هذا الهواء المتدفق فان الفقد يحدث من خلال العادم الغير مرغوب .

توضح المعادلة الآتية الوفر السنوي الناتج في هذه الحالة

$$AES = \frac{CFH * C_P * DA * (TA-TO) * RHY}{\eta} \quad [8]$$

حيث:

CFH	=	Air flow rate . CFM = معدل تدفق الهواء
C_p	=	Specific heat of air ,0.24 BTU / Ib-F° = الحرارة النوعية للهواء
DA	=	Air density, / Ib/ F^3 = (2-A) جدول Aكثافة الهواء من ملحق
TO	=	Average outdoor temperature , °F = متوسط درجة الحرارة الخارجية
TA	=	Ambient temperature , °F = متوسط درجة الحرارة المحيطة
RHY	=	Reduction in exhaust operating hours per year
	=	الانخفاض فى عدد ساعات تشغيل العادم فى السنة
η	=	Efficiency = الكفاءة

9 - الضبط المسبق لدرجة الحرارة

نظم التدفئة والتبريد والتي لا تحتوى على أجهزة ضبط لدرجات الحرارة خلال ساعات عـدم الأشغال . يمكن التحكم في امثل طاقة مستخدمه إذا أمكن إنجاز ذلك فيمكن الحصول علـى وفر في الطاقة ويمكن اتباع الآتي :

- حافظ على أن تكون درجة حرارة الحيز أعلي نسبيا في موسم الحر بينما تكـون اقل نسبيا في موسم البرد
- خفض تشغيل نظام التدفئة والتبريد
- خفض مستوى التدفئة وفصل تكييف الهواء عند عدم اشغال المبنى
- استخدام مؤقت أو ثرموستات للتحكم في تشغيل تكييف الهواء

توضح المعادلة الآتية الوفر السنوي للطاقة

$$AEC = \frac{\left[(U * A) + (CP * DA * I) \right] * DHS}{\eta} \qquad [9]$$

حيث

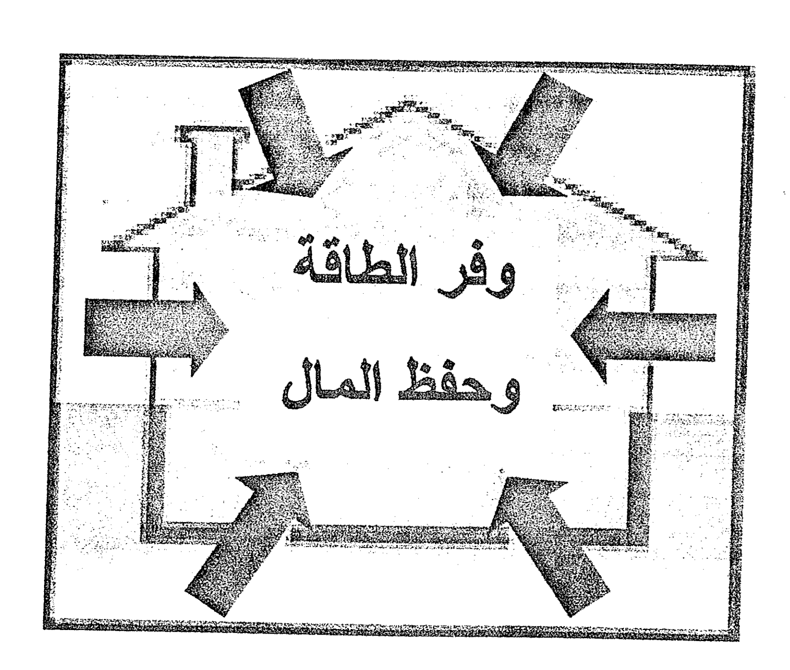
U = Heat transfer coefficient for walls and ceiling ,
BTU / hr – ft^2-° F=معامل انتقال الحرارة للسقف والحوائط

A = Area of exterior walls and roof , ft^2
المساحة الخارجية للسقف والحوائط

C_P = specific heat of air , 0.24 BTU / Ib - °F
الحرارة النوعية للهواء

DA = Density of air , Ib /ft^3 = (2-A) جدول Aكثافة الهواء من ملحق

I	=	infiltration rate during unoccupied hours , ft^2 / hr معدل تسرب الهواء خلال ساعات الاشغال
DHS	=	Degree hour savings , F° -hr /yr الوفر السنوى فى قيمة درجة الحرارة – ساعة
η	=	Average heating efficiency متوسط كفاءة التدفئة



امنع تسرب الهواء عن طريق : -

سد الفتحات- عزل الجدران - عزل الاسقف

10- زيادة المادة العازله او تغييرها

إهمال الاهتمام بالمادة العازلة يشارك في زيادة الفقد الحراري المنقـول وغـير المرغـوب ويؤدى إلى ارتفاع تكلفه التشغيل لنظم التبريد أو التسخين ولتخفيض قيمة هذا الفقد استخدم عزل جديد أو جدد الموجود لمكونات النظام (مواسير المياه الساخنة ، مجارى الهواء) معادلة الوفر فى هذه الحالة :

$$AES= \{ (HL_c-HL_a) * HY \eta \qquad [10]$$

حيث

HL_c = Current (uninsulated surface)heat loss , BTU / ft – hr
الفقد الحرارى الحالى (من الأسطح غير المعزولة)

HL_a = Anticipated (insulated surface) heat loss ,BTU /ft –hr
الفقد الحرارى المتوقع (من الأسطح المعزولة)

HY = Operating hours per year =عدد ساعات التشغيل فى السنة

η = Efficiency = الكفاءة

11 -- استخدم السمك المناسب لعازل الحوائط والأسقف والأبواب

عدم استخدام السمك المناسب للعازل او غير الكافي يؤدى إلى فقد في الحرارة المنقولـــة . وبالتالى ارتفاع تكلفة تشغيل نظام التكييف فى موسم الحر

$$HES = \{[(A*U_C*DH_C)-(A*U_a*DH_a)]\}/\eta \qquad [11]$$

تستخدم هذه المعادلة لحساب الوفر

حيث

HES = Heating energy saving = وفر الطاقة لموسم الحر

A = Area to be insulated , ft^2 = المساحة المطلوب عزلها

U_c = Conductance with no insulation , BTU / hr – ft^2- °F
الموصولية الحرارية في حالة عدم وجود عزل

U_a = Conductance with proposed insulation, BTU / hr – ft^2- °F
الموصولية الحرارية في حالة وجود العزل المقترح

DH_c = Number of degree hours below current equilibrium temperature (°F. hr)
عدد ساعات الحرارة تحت درجة حرارة التوزان الحالى

η = Heating system efficiency = كفاءة نظام التسخين

DH_a = Number of degree hours below anticipated equilibrium temperature (°F. hr)
عدد ساعات الحرارة تحت درجة حرارة التوزان المتوقع

مثال (4)

أشار مســح الطاقة إلى تخفيض معدل التهوية من 4 إلى 2 لكل ساعة خلال أشهر الشتاء – 240 يوم ، 4200 درجة يوم (degree - days) .

البيانات المأخوذة من مسح الطاقة

- حجم المبنى (بالقدم) = building size = 20 H X 150 w X 100 L
- درجة الحرارة الداخلية = Inside temperature = 70 ^{0}F
- قدرة المحرك = Motor Horsepower = 20 H P
- الكفاءة الكهربائية بلوحة البيان = Nameplate electrical efficiency = 0.8
- تكاليف المرفق = Utility costs = \$ 4/10^6 Btu = 5 ¢ / KWH
- ساعات التشغيل السنوية = Hours of operation = 5760/Y
- كفاءة الغلاية = Boiler Efficiency = 0.65

احسب الوفر السنوى نتيجة تخفيض معدل التهوية

الحل :

حجم المخازن = 20 X 150 X 100 = 300000 Ft^3

$$CFM_{old} = \text{المعدل الحالى} = 4 \times 300000\ (Ft^3) \times \frac{1}{60\ (min)}$$

= 20000 CFM [1]

$$CFM_{new} = \text{معدل التخفيض} = 2 \times 300000\ (Ft^3) \times \frac{1}{60\ (min)}$$

= 10000 CFM [1]

---

(1) CFM = cubic feet per minute

الوفر نتيجة تخفيض القدرة (HP)

$$\text{تخفيض القدرة (HP)} = HP \times \left(\frac{CFM_{new}}{CFM_{old}} \right)^3$$

$$= 20\ HP\ (2/4)^3 = 2.5\ HP$$

$$\text{الوفر فى الكهرباء} = (20 - 2.5) \times (0.746 / 0.8) \times (5\ ¢ / kwh) \times 5760$$

$$= \$\ 4699.8$$

الوفر نتيجة تخفيض الفقد الحرارى

$$\text{متوسط درجة الحرارة} = \text{average } \Delta T = \frac{4200\ \text{(درجة - يوم)}}{240\ \text{(يوم)}} = 17.5\ ^0F$$

$$\text{متوسط درجة الحرارة بالخارج} = \text{average outdoor} = 70 - 17.5 = 57.5\ ^0F$$

(درجة الحرارة خلال موسم التدفئة)

$$Q\ (saved) = \left(\frac{1.08\ Btu}{Hr - CFM - {}^0F} \right) \times CFM\ (saved) \times \Delta T$$

$$= 1.08\ (20000 - 10000) \times 17.5$$

$$= 189000\ Btu\ h$$

$$\text{الوفر} = (189000\ Btu\ h) \times \left(\frac{\$\ 4/10^6\ Btu}{0.65} \right) \times (5760\ h)$$

$$= \$\ 6698$$

$$\text{الوفر السنوى الكلى} = 4699.8 + 6698 = \$\ 11397$$


تذكر
اطفئ اللمبه
عند عدم
الحاجه اليها
Plan for a
Brighter Future

الباب الثامن

تقليص حرارة عمليات الإنتاج

وفــرص ترشيــد استخــدام الطــاقة

Process Heat Confinement
And Potential of Energy Saving

مقــدمــة :

يمكن تخفيض تكاليف الوقود المستخدم للتسخين أو التدفئة بتقليــص عمليــة الحــرارة المتبددة ، الأمر الذي يساعد على زيادة كفاءة العملية وسريان طاقة مثالي .

وفى هذه الحالة فان فرص ترشيد استخدام الطاقة تتمثل في:

1- استبدال أو إصلاح العزل **(Insulation repair or replacement)**

2 - تغطية الخزانات المكشوفة بعزل عائم
(Cover open tanks with floating insulation)

3- إحكام سداد الخزانات المفتوحة **(Seal open tanks)**

4 - منع أو تقليل الفتحات **(Eliminate or reduce openings)**

5 - تخفيض التهوية المستعملة **(Minimize ventilation use)**

6- تركيب مديرات السرعة المتغيرة / خفض قدرة المحرك
(Install variable speed drives / reduce motor HP)

7- استخدام الهواء الخارجي للتبريد (دورة قصيرة لهواء العادم)
(Use outside air for process cooling (short cycle exhaust air)

وفيما يلي توضيح كل توصيه

1- استبدال أو إصلاح العزل

تساهم الأسطح المعرضة للإشعاع الحراري في زيادة المفقـــودات والتـــي عـــادة لا تكـــون ملحوظة . في حالة تعدي درجة حرارة الأسطح درجة 150 °F عندئذ يجب الكشـــف عنـــها والتأكد من أن عزل هذه الأسطح بدرجة كافية . ولتخفيض المفقـــودات يجـــب اســـتبدال أو إصلاح عزل الخزانات وخطوط الأنابيب والمعدات ...

تعتبر الرطوبة من أهم العناصر الشائعة المسببة لتخفيض أداء العزل .

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوي لهذه الفرصة

$$AES = \{(HL_c - HL_a) * HY\}/\eta \qquad [1]$$

حيث:

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

HL_c = current (uninstalled surface) heat loss, $Btu / ft^2 - hr$

= الفقد الحراري الحالي (من الأسطح غير المعزولة) (بوحدة $Btu / ft^2 - hr$)

HL_a = anticipated (installed surface) heat loss, $Btu / ft^2 - hr$

الفقد الحراري المتوقع (من الأسطح المعزولة) (بوحدة $Btu / ft^2 - hr$)

HY = operating hours per year = عدد ساعات التشغيل سنويا

η = efficiency = الكفـــاءة

يوضـــح جدول (A – 16) بملحق A الفقـــد الحـــراري من الأسطـــــح المستـــوية عنـــد رطوبة نسبية % 40

2- تغطية الخزانات المكشوفة بعزل عائم

خزانات التسخين لبعض العمليات مثل عملية كساء الألومنيوم بطبقة من أكسيد الألومنيوم بطريقة التحليل بالكهرباء (anodize) ، والطلاء المعدني (Plating) ... تسبب حرارة مفقودة نتيجة الأسطح المكشوفة للسائل . ويمكن تخفيض حمل التسخين الزائد عن طريق تغطية أو عزل هذه الأسطح المكشوفة بعزل عائم أو طافى (Floating insulation) .

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه التوصية

$$AES = (CHL * A * F * HY)/\eta \qquad [2]$$

حيث :

AES = annual energy saving
= وفر الطاقة السنوي

CHL = current heat loss from exposed tanks w/ ft^2
= الفقد الحراري الحالي من الخزانات المكشوفة (بوحدة w/ ft^2)

نحصل عليها من ملحق A جدول (A-17)

A = exposed surface area, ft^2
= مساحة السطح المتعرض (وحدة ft^2)

F = percent reduction in energy use
= نسبة الانخفاض في الطاقة المستعملة (من جدول (8-1))

HY = operating hours per year = عدد ساعات التشغيل سنويا

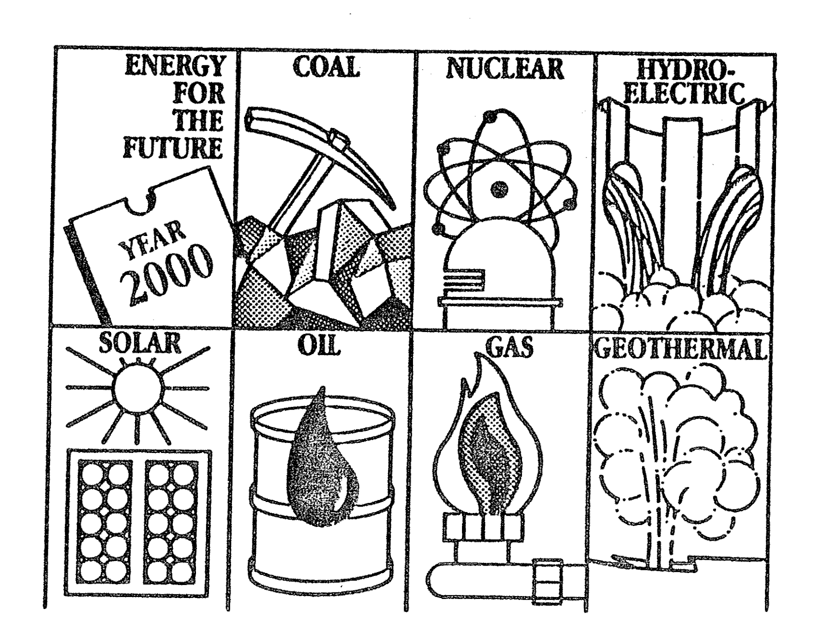
η = efficiency of tank heating system
= كفاءة نظام التسخين بالخزان

جـــدول (8-1) نسبة الانخفاض في الطاقة المستعملة

(هذا الجدول مأخوذ من Technological Instituted of Copenhagen)

درجة الحرارة فهرنهيت Temperature (^{o}F)	درجة الحرارة المئوية Temperature (^{o}C)	الفقد الحراري (طبقة واحدة) Heat loss, Kw/hr (1 layer)	نسبة الانخفاض Percent reduction	الفقد الحراري (طبقتان) Heat loss, Kw/hr (2 layers)	نسبة الانخفاض Percent reduction
122	50	0.6	65	0.5	71
158	70	1.3	72	0.8	83
194	90	2.7	75	2	81

كذلك يمكن حســاب الفقــد الحــراري مـــن الخـــزان المكشــوف بوحــدة $Btu/hr.ft^2$ باستخـــدام جدول (8-2)



جــدول (2-8) الفقد الحراري من مياه الخزان المكشوف

الفقد الحراري من الخزان المكشوف (Btu/(hr-ft^2 درجة الحرارة المحيطة										
درجة حرارة السائل LIG TEMP DEG F	HEAT LOSS FROM OPEN TANK IN BTU/HR-SQ FT AMBIENT AIR DRY AMBIENT TEMPERATURE DEG F (°F) درجة الحرارة المحيطة									
	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110
110	244	233	222	211	200	189	177	165	152	138
115	291	279	268	256	245	233	221	208	195	182
120	345	333	321	309	297	284	271	259	245	231
125	407	395	382	369	356	343	330	317	303	289
130	479	465	452	438	425	411	397	383	369	355
135	561	547	533	519	504	490	475	461	446	431
140	655	641	626	611	596	580	565	550	534	519
145	764	748	733	717	701	685	669	653	636	620
150	889	872	856	839	822	805	788	771	754	737
155	1032	1015	997	979	962	944	926	908	890	872
160	1198	1179	1160	1142	1123	1104	1085	1067	1048	1029
165	1388	1368	1349	1329	1309	1289	1269	1249	1230	1210
170	1608	1587	1566	1545	1524	1503	1482	1461	1440	1419
175	1826	1840	1817	1795	1773	1751	1728	1706	1684	1662
180	5157	2133	2109	2085	2062	2038	2014	1991	1967	1944
185	2499	2474	2448	2423	2397	2372	2347	2323	2297	2272
190	2900	2872	2845	2818	2790	2764	2737	2710	2684	2657
195	3369	3339	3310	3280	3251	3223	3194	3165	2137	3109
200	3923	3890	3859	3827	3796	3765	3734	3703	3673	3643

3-إحكام تغطية الخزانات المفتوحة

خزانات التسخين المفتوحة المستخدمة في عمليات كساء الألومنيوم والطلاء المعدني تؤدي إلى فقد حراري نتيجة الأسطح المكشوفة للسائل - يتم تخفيض حمل التسخين الزائد عن طريق تغطية الأسطح المفتوحة بعزل عائم أو طافى.

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه التوصية

$$AES = (RA * A * LE * HY)/\eta \qquad [3]$$

حيث :

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوى

RA = rate of evaporation, Ib/ft^2-hr

معدل البخر (بوحدة Ib/ft^2-hr) نحصل عليها من ملحق A جدول (18-A) بمعرفة سرعة الهواء بين المياه والهواء ومتوسط درجة حرارة المياه

A = exposed surface area, ft^2

= مساحة السطح المتعرض (وحدة ft^2)

LE = latent heat of vaporization , Btu/Ib

= الحرارة الكامنة للتبخر(وحدة(Btu/Ib) من ملحقA جدول(1-A) (Thermo-table

HY = annual tank operating hours

=عدد ساعات تشغيل الخزان سنويا

η = efficiency of tank heating system

=كفاءة نظام التسخين بالخزان

4- منع أو تقليل الفتحات

يمكن أن تكون الفتحات غير المصممة لتسخين عمليات الإنتاج أو التدفئة سببا في زيادة تكاليف التشغيل بالمنشأة . إلغاء أو منع هذه الفتحات يخفض الفقد الحراري غير الضروري لعلاج ذلك يمكن تخفيض مقاس الفتحات ، والمجاري والأبواب ......

أو بإضافة أبواب (أو أغطية) متحركة لمعدات عمليات الإنتاج . لسهولة الحسابات يفرض إهمال مفقودات الإشعاع (radiation losses) .

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

$$AES = \{(SIG * A * \left(TO^4 - TR^4\right) * EPS * HY \ )/\eta \ \} \qquad [4]$$

حيث :

AES = annual energy saving = وفر الطاقة السنوى

SIG = Sigma, Steffan-Boltzmann Constant, $0.1713 * 10^{-8}$ Btu/hr – ft^2 – R^4

= ($0.1713 * 10^{-8}$ Btu/hr – ft^2 – R^4) ثابت ستيفان وبلوتزمان

A = area to be covered, ft^2

= المساحة المغطاة (بوحدة ft^2)

TO = temperature of opening , R

= درجة حرارة الفتحة (بوحدة R)

R = degree Rankine = degree ^{0}F + 460

= بوحدة"رانكين"

TR = temperature of room , R

= درجة حرارة الغرفة (بوحدة R)

EPS = Epsilon, emissivity of opening, (estimated)

= ابتعاثية الفتحة (تقديرية)

HY = operation hours per year

= عدد ساعات تشغيل الخزان سنويا

η = efficiency of tank heating system

= كفاءة نظام التدفئة

5 - تخفيض التهويه المستعملة

تضمن نظم التهوية طبقا للتصميم تهوية جيدة للحيز .ويمكن الحصول على الوفر من خلال خفض هواء التهوية إلى أقل مستوى أمان ،مثل خفض هواء التعويض وعادم المباني ، غلق خانقات (dampers) هواء الأبواب الخارجية خلال دورات زيادة الحرارة أو انخفاض التبريد واستخدام أقل تهوية ممكنة لوقف المذيبات القابلة للاحتراق أو الأبخرة الأخرى غير المرغوبة ، فصل مراوح العادم (exhaust fans) عند عدم الاحتياج .

نحصل على وفر الطاقة نتيجة تخفيض الكهرباء المستخدمة (وفر الطاقة المستهلكة بالمراوح) ، وكذلك عند تخفيض حمل التدفئة .

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوي عند تخفيض التهوية المستعملة للنظام

$$AES = \left\{ \left(CFH * C_P * DA * \left(T_a - T_w\right) * PO * HY \right) \right\} / \eta \qquad [5]$$

حيث :

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوى

CFH = air flow rate, ft^3 / hr

= معدل سريان الهواء(وحدة ft^3 /hr)

C_p = specific heat of air, 0.24 Btu / Ib – °F

= الحرارة النوعية للهواء (تساوى 0.24 Btu/Ib-°F)

DA = density of air, Ib / ft^3

= كثافة الهواء (وحدة Ib/ ft^3) من جدول (2-A) ملحق A

T_a = ambient room temperature, °F

= درجة حرارة الغرفة (بوحدة °F)

T_w = outside temperature, °F

= درجة الحرارة الخارجية (بوحدة °F)

HY = hours per year during heating season

= عدد الساعات السنوية خلال موسم التدفئة

PO = fraction of time fans can be shut off

= نسبة الزمن الذي يتم فصل المراوح خلاله

η = heating system efficiency

= كفاءة نظام التدفئة

وتوضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي نتيجة توقف المراوح :

$$FES = (HP * CON * HY * PO)/\eta \qquad [6]$$

FES = **fan energy saving**

= **وفر الطاقة المستهلكة بالمراوح**

HP = **fan horsepower, hp**

= **قدرة المروحة (وحدة hp)**

CON = **conversion factor, 0.7465 kw/hp**

= **عامل تحويل (0.7456 kw/hp)**

HY = **hours per year during heating season**

= **عدد ساعات التشغيل سنويا خلال موسم التدفئة**

PO = **fraction of time fans can be shut off**

= **نسبة الزمن الذى تتوقف فيه المراوح**

η = **Fan efficiency**

= **كفاءة المروحة**

6 - تركيب مديرات السرعة المتغيرة وخفض قدرة المحرك

تستخدم مديرات السرعة المتغيرة لتخفيض سرعة المحرك عن طريق ضبط التردد أو الجهد أو تيار مدخل المحرك ، وعلى ذلك فإن أداء المحرك يوائم ويتماشى مع الحمل الفعلي . يمكن لمديرات السرعة التحكم في السرعة على مدى واسع ، من 0% إلى 300% من السرعة المقننة للمحرك.

أصبح تخفيض القدرة الحصانية المحرك (HP) ليس ضروريا لموائمة الأحمال الفعلية ، وعلى ذلك يمكن تخفيض الطاقة المستهلكة للمروحة خاصة عندما يكون تيار المحرك أعلى أو أقل من المقنن . وعليه يمكن الحصول على وفر في طاقة التدفئة ووفر في الطاقة المستهلكة بالمراوح .بتطبيق هذه التوصية يمكن حساب الوفر طبقا للمعادلة الآتية:

$$HES = \left\{ \left(CCFH - PCFH \right) * C_P * DA * \left(T_a - T_w \right) * HY \right\} / \eta \qquad [7]$$

حيث :

HES = heating energy savings

= وفر الطاقة المستهلكة بالتدفئة

CCFH = current air flow rate, ft^3 / hr

= معدل سريان الهواء الحالي (بوحدة ft3/hr)

PCFH = proposed air flow rate, ft^3 / hr

= معدل السريان المقترح للهواء (بوحدة ft3/hr)

[بعد تطبيق استخدام مديرات السرعة المتغيرة أو تخفيض قدرة HP]

C_p = specific heat of air, 0.24 Btu / Ib – °F

= الحرارة النوعية للهواء (تساوى 0.24 Btu/lb-°F)

DA = density of air, Ib / ft^3

= كثافة للهواء (بوحدة Ib / ft^3) من جدول (2-A) ملحق A

T_a = ambient space temperature, °F

= درجة حرارة الحيز (بوحدة °F)

T_w = outside temperature, °F

= درجة الحرارة الخارجية (بوحدة °F)

HY = hours per year during heating season

= عدد ساعات التشغيل سنويا خلال موسم التدفئة

η = heating system efficiency

= كفاءة نظام التدفئة

بينما يحسب وفر الطاقة المستهلكة بالمراوح من المعادلة

$$FES = (HP * CON * LF * PS * HY) / \eta \qquad [8]$$

حيث :

FES = fan energy savings

= وفر الطاقة المستهلكة بالمراوح

HP = fan horsepower, HP

= قدرة المروحة(وحدة HP)

CON = conversion factor, 0.7465 Kw/HP

= عامل التحويل (يساوى 0.7465 Kw/HP)

LF = load factor of motor

= عامل الحمل للمحرك

PS = fractional power savings for reduced air flow

= نسبة وفر الطاقة نتيجة تخفيض سريان الهواء

HY = hours per year during heating season

= عدد ساعات التشغيل سنويا خلال موسم التدفئة

η = heating system efficiency

= كفاءة نظام التدفئة

7 - استخدام الهواء الخارجي للتبريد (دورة قصيرة لهواء العادم)

يمكن استخدام الهواء الخارجي لنظم تبريد عمليات الإنتاج إذا كان فـرق درجـة الحـرارة مناسب . الأمر الذي يؤدي إلى تقليل تكلفة تشغيل نظم التبريد .ويعتـبر اسـتخدام الـهواء الخارجي بدلا من الهواء المكيف لأغراض عمليات الإنتاج أحد فرص ترشيد استخدام الطاقة ، وذلك لاستخدام هواء مستقل وتقليل هواء التكييف.

وتستخدم المعادلة الآتية لحساب الوفر عند تطبيق هذه التوصية

$$AES = \left(CFH * C_P * DA * (Ta - Tw) * HY * \eta_s \right) / \eta \qquad [9]$$

حيث :

AES = Annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

CFH = air flow rate, ft^3 / hr

= معدل سريان الهواء (بوحدة ft3/hr)

C_p = specific heat of air, 0.24 Btu / Ib – °F

= الحرارة النوعية للهواء (تساوى 0.24 Btu/lb-°F)

DA = density of air, Ib / ft^3

= كثافة الهواء (بوحدة Ib / ft^3) من جدول (2-A) ملحق A

T_a = ambient room temperature, °F

= درجة حرارة ا (بوحدة °F)

T_w = outside temperature, °F

= درجة الحرارة الخارجية (بوحدة °F)

HY = hours per year during heating season

= عدد ساعات التشغيل سنويا خلال موسم التدفئة

η_s = efficiency of short cycle system in using outside air

= كفاءة نظم الدورة القصيرة عند استخدام الهواء الخارجي

η = heating system efficiency

= كفاءة نظام التدفئة

الباب التاسع

الإضـــــاءة

وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Lighting And Potential of Energy Saving

مقـــدمة

يمثل استهلاك الإضاءة نسبة محسوسة من الاســـتهلاك الكلــي بالمنشــآت الصناعيــة والتجارية وبالوحدات السكنية والخدمية .. توجد عوامل متعددة تؤثر في تحســـين كفــاءة الإضاءة منها حالة الإضاءة ، ونظافة مكونات نظام الإضاءة ، ونظافة الحوائــط والأســقف والأرضيات ... يؤدى استخدام الإضاءة عالية الكفاءة إلى تخفيض تكلفة استهلاك الكهرباء . وتعتمد فترة الاسترداد البسيطة على عدد اللمبات المستخدمة وعدد ساعات التشغيل .
طبقا للمواصفات الأمريكية IESNA (Illuminating Engineering Society of North America) فإن معدل الحرارة المتولدة من الإضاءة تكون 3.4 Btu / hr / watt من الطاقة المستهلكة .

فرص ترشيد استخدام الطاقة بنظم الإضاءة

1 – التخلص من الإضاءة غير الضرورية

(Remove unnecessary lighting)

2 – الاستفادة من ضوء النهار

(Use daylight to supplement lighting)

3 – تخفيض الإضاءة باستخدام حساسات الحركة

(Reduce lighting, install motion sensors)

4 – تحسين كفاءة الإضاءة

(Improve efficiency of lighting)

وفيما يلي توضيح كل فرصة من فرص ترشيد استخدام الطاقة لنظم الإضاءة

1 - التخلص من الإضاءة غير الضروريه

(Remove Unnecessary Lighting)

يمكن الاستفادة من هذه الفرصة عن طريق

- رفع الكشافات الزائدة .
- رفع اللمبات الزائدة للوصول إلى مستوى الإضاءة الضروري فقط .
- فصل كابحات التيار غير المستعملة .

عند تطبيق ذلك فإن وفر الطاقة يتبع المعادلة الآتية :

$$AES = N * EU * LH * 10^{-3} \quad kwh \quad .... [1]$$

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

N = number of fixtures / lamps / ballasts to be removed

= عدد الكشافات/اللمبات/الكابحات المفصولة

EU = rate of energy use per fixture / lamp and/or ballast (watt)

= معدل قدرة كشاف / لمبة / أو كابح (وات)

LH = number of hours lighting is used per year

= عدد ساعات تشغيل الإضاءة في السنة (ساعة)

2 - الاستفادة من ضوء النهار بدلا من نظام الإضاءة

(Use daylight to supplement lighting)

لتخفيض تكلفة تشغيل نظام الإضاءة يتم إجراء الآتي:

فصل الإضاءة بالأماكن المتاح بها الضوء الطبيعي ، إنشاء منور بالمبنى للاستفادة من الضوء الطبيعي ، وخفض الإضاءة خارج المبنى لأقل مستوى إضاءة مسموح .

معادلة وفر الطاقة السنوي (AES) هى :

AES = N * EU * HDY * DLF * 10^{-3} kwh ....[2]

حيث :

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

N = number of lights to be turned off during daylight hours

= عدد اللمبات التي ستفصل خلال ساعات الضوء الطبيعي

EU = rate of energy use per light fixture (lamp and ballast), watt

= معدل القدرة المستخدمة لكل كشاف(لمبة وكابح) (وات)

HDY = operation hours per year, during daylight hours

= عدد ساعات التشغيل في السنة خلال ساعات ضوء النهار

ونحصل عليها من حاصل ضرب:عدد الساعات القابلة للتشغيل يوميا

أثناء ضوء النهار × العدد المتوسط لأيام السنة الساطع فيها الشمس

DLF = daylight use factor, fraction of usable light

= عامل الاستفادة من ضوء النهار

أو عامل ضوء النهار الذي يعتمد على مستوى الإضاءة المطبق وهو نسبة من الضوء الصالح للاستعمال .

3 - تخفيض الإضاءة باستخدام حساسات الحركة

(Reduce lighting, install motion sensors)

عند استخدام مؤقتات / حساسات الحركة لنظم الإضاءة للمساحات غير المشغولة ، فإننا في هذه الحالة لا نحتاج إلى برنامج فصل الإضاءة عند عدم الاحتياج . هذه المؤقتات والحساسات تقلل تكلفة تشغيل الإضاءة . حساسات الحركة هذه تفصل آليا الإضاءة عند عدم الاحتياج على أساس غياب الأشخاص من الأماكن .

معادلة وفر الطاقة السنوي (AES) هي :

$$AES = SUM[NL_i * KW_i * (CHY_i - PHY_i)] \quad kwh \quad ....[3]$$

حيث

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوي

NL_i = number of light fixture in area (i), where motion sensors will be used

= عدد كشافات الإضاءة(أوعدد اللمبات) في المكان i والمركب به حساسات الحركة

Kw_i = total rate of energy use of light fixtures, kw

= القدرة الكلية للمبات المستخدمة في المكان i (ك . وات)

CHY_i = current hours lighting is on per year

= ساعات التشغيل الحالية للإضاءة في السنة

PHY_i = anticipated hours lighting will be used per year

= ساعات الإضاءة المتوقعة والتي سوف تستخدم في السنة

يمكن كتابة المعادلة أيضا على الصورة التالية وهى الأكثر استخداما .

$$AES = SUM[NL_i * KW_i * BTR_i * CHY_i] \quad Kwh \quad ....[4]$$

حيث :

BTR_i = burn time reduction (%)

= نسبة انخفاض زمن فصل الإضاءة (والتي عادة تفرض 25 %)

4 - تحسين كفاءة الإضاءة **(Improve efficiency of lighting)**

إن استخدام الإضاءة عالية الكفاءة أو اللمبات ذات القدرات المنخفضة أو الكابحات الإلكترونية في الإنشاءات الحالية ، كذلك التخلص من اللمبات عديمة الكفاءة يقلل تكلفة تشغيل الإضاءة . عند اختيار نظم الإضاءة في الإنشاءات الحديثة يجب أن يؤخذ في الاعتبار اختيار أفضل العواكس .

معادلة وفر الطاقة السنوي (AES) هي :

$$AES = SUM\,[N_i * LH_i * (CFW_i - PFW_i)] * 10^{-3} \quad Kwh \ldots\ldots[5]$$

حيث:

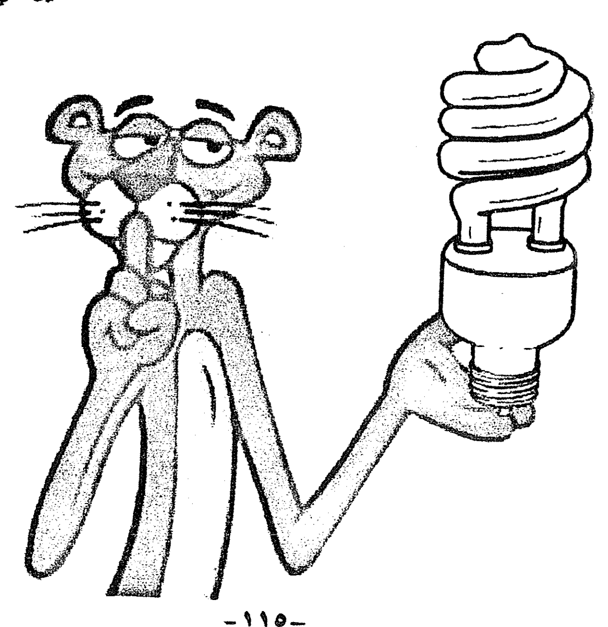
AES = annual energy saving
= وفر الطاقة السنوي

N_i = number of bulbs / ballasts of type (i)
= عدد اللمبات أو الكابحات من النوع i

CFW_i = power draw of current fixtures (bulb and ballast) of type i (watt)
= قدرة اللمبات الحالية (أو الكابحات الحالية) من النوع i (وات)

PFW_i = power draw of proposed fixtures (bulb and ballast) of type i (watt)
= قدرة اللمبات المقترحة (أو الكابحات المقترحة) من النوع i (وات)

LH_i = number of hours / year fixtures of type i are used
= عدد ساعات التشغيل في السنة



مثال (1)

احسب الوفر وفترة الاسترداد للبيانات التالية والمطلوبة لمكتب إداري

البيـــــان	الوضـــع الحـــالي	الوضـــع المقتـــرح
النـــــوع	3 LT 12 (كابح تقليدي)	3 LT 8 (كابح إلكتروني)
العدد	278	278
قدرة الكشاف (watts)	124	78
عدد ساعات التشغيل (hr)	4431	4431

سعر KW $ 5.85 / KW / month

سعر KWh $ 0.0565 / KWh

تكلفة الوضع المقترح $ 16786

الحـــل

الوفر في القدرة = $[(278*124) - (278*78)] * 10^{-3} = 12.79$ kw

الوفر في الطاقة = (الوفر في القدرة) * (4431 hr)

= 56672 kwh

قيمة وفر القدرة السنوي = (12.79 kw) ($ 5.85 / kw / month) (12 month)

= $ 898

قيمة وفر الطاقة = (56672 kwh) ($ 0.0565 / kwh)

= $ 3202

قيمة الوفر الكلي = $ 4100

فترة الاسترداد = تكلفة الوضع المقترح / قيمة الوفر الكلي

= 16786 / 4100 = 4.1 year

مثال (2)

احسب الوفر وفترة الاسترداد عند تركيب حساسات حركة (motion sensors) أو حساسات أشغال (occupancy sensors) لمبنى يحتوي على

- الصالة الأولى : عدد الكشافات 50 / قدرة الكشاف 106 w
- الصالة الثانية : عدد الكشافات 25 / قدرة الكشاف 62 w
- عدد ساعات التشغيل 2860 hr
- نسبة انخفاض زمن فصل الإضاءة عند استخدام الحساسات 25 %
- بفرض أن التكلفة الكلية للحساسات 2242 $
- سعر الطاقة الكهربائية 0.065 / kwh $

الحـــل

القدرة الكلية = $(50*106 + 25*62) * 10^{-3} = 6.85$ kw

الطاقة الكلية = (القدرة الكلية) * (2860 hr) = 19591 kwh

وفر الطاقة نتيجة استخدام الحساسات = (الطاقة الكلية) * (25 %)

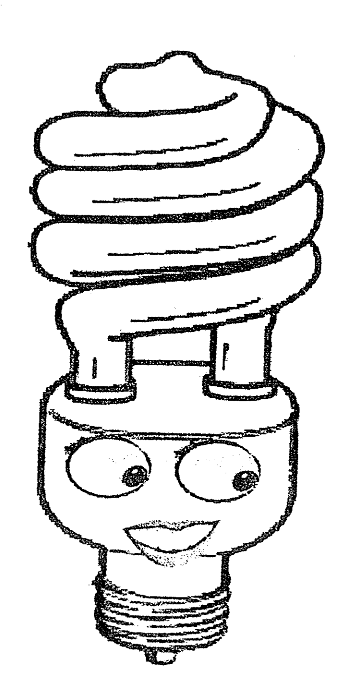
= 19591 * 0.25 = 4898 kwh

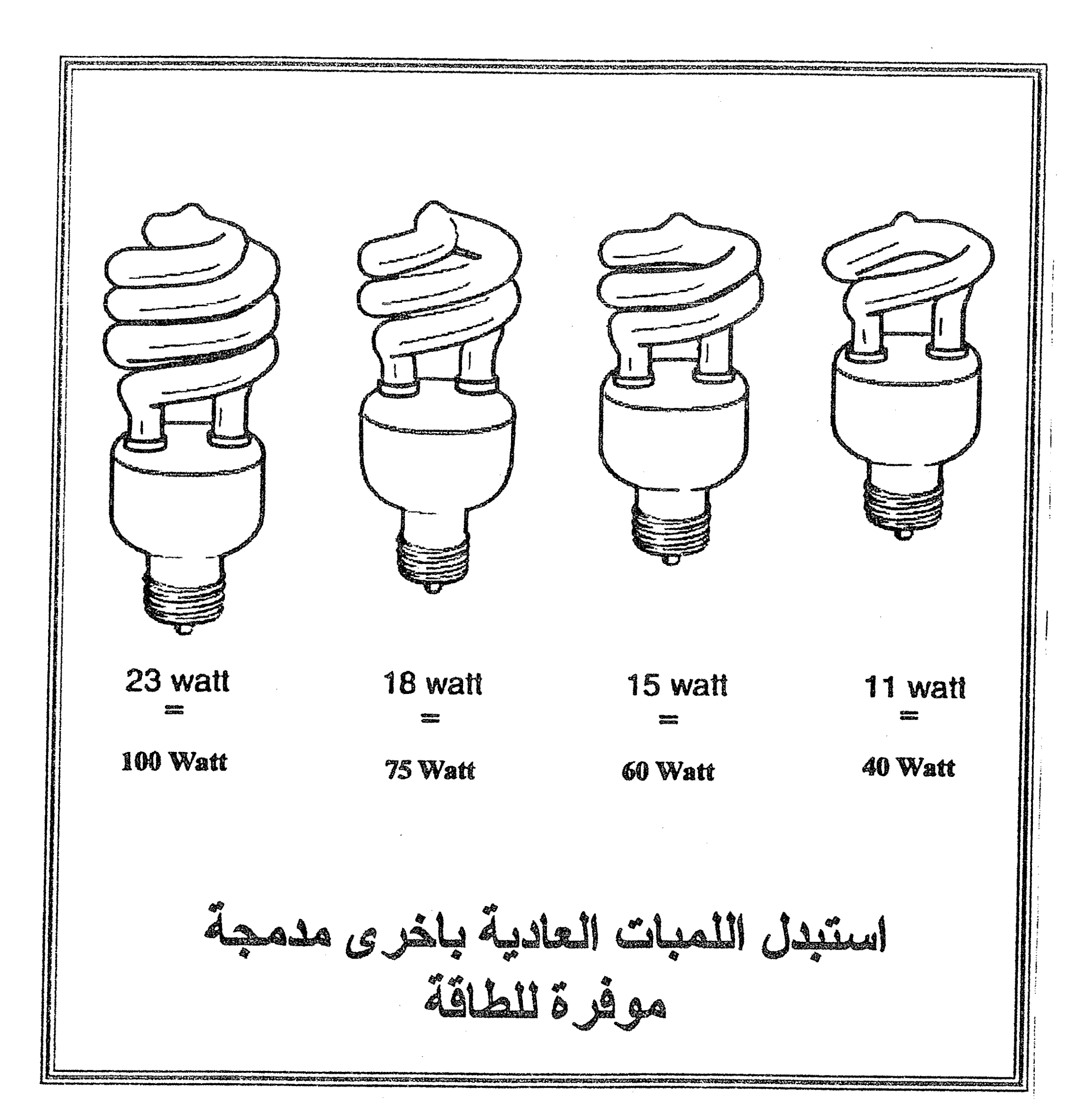
تكلفة وفر الطاقة = (4898 kwh) ($ 0.056 / kwh)

= $ 318.4

فترة الاسترداد = التكلفة الكلية للحساسات / تكلفة وفر الطاقة

= 2242 / 318.4 = 7.04 year





استبدل اللمبات العادية باخرى مدمجة موفرة للطاقة

الباب العاشر

طلب الطاقة ومعامل القدرة
وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Electrical Demand & Power Factor
And Potential of Energy Saving

مقدمة

تتعرض بعض المنشآت الصناعية إلى بعض المشاكل فى استهلاك الطاقة واحتياطات الأمان.
من هذه المشاكل :

- عند تشغيل المحركات عند جهد اقل من جهد التصميم ، فأن المحركات تسحب تيار أعلى من المقنن وبالتالى تسبب مفقودات عالية بخطوط النقل .
- اذا كانت التوصيلات ذات مقاسات أصغر من مقنن الحمل ، يؤدى ذلك إلى مفقودات أعلى وزيادة احتمالات حدوث حرائق .
- عند تشغيل المحركات ثلاثية الاطوار بجهود غير متزنة (voltage imbalance) فإن ذلك يؤدى إلى ارتفاع المفقودات .
- انخفاض معامل القدرة والذى يسبب دفع مقابل لفرق انخفاض معامل القدرة لمرفق الكهرباء .

من فرص ترشيد استخدام الطاقة

1 – تحسين معامل القدرة للقيمة المثلى — Optimize plant power factor

2 – تركيب متحكمات تحسين معامل القدرة للمحركات — Install power factor controllers on motors

3 – تركيب متحكم فى الطلب / طرح الحمل — Install demand controller / load shedder

4 – تخفيض سعة المحول — Reduce transformer capacity

5 – فحص درجة دقة عداد القدرة — Check accuracy of power meter

6 – تخفيض التعريفة Reduce rates

7 – الاستفادة من التحكم في إدارة القدرة لتخفيض السعر بمعرفة مرفق الكهرباء

Take advantage of utility controlled power management for price reduction

8 – تخفيض القيمة المقابلة لتأخير دفع الرسوم Reduce late fees

9 – تركيب موحدات ذات الكفاءة Install efficient rectifiers

وفيما يلى توضيح كل فرصة ترشيد

1 – معامل القدرة المثالي للمصنع (Optimize plant power factor)

يعرف معامل القدرة بأنه النسبة بين الطاقة الفعالة (Kwh) إلى الطاقة الكلية الظاهرية (KVAh) .عند تركيب مكثفات تحسين معامل القدرة ينخفض طلب الطاقة للمصدر . وأيضا لها وفورات إضافية نتيجة انخفاض مفقودات قدرة خط المصدر (تحسين معامل القدرة ينتج عنه انخفاض التيار تناسبيا ، وبالتالي انخفاض مفقودات قدرة الخط والتي تتناسب مع مربع التيار) .

من المعدات التى تسبب انخفاض معامل القدرة : ماكينات اللحام ، المحركات التأثيرية ، محولات القدرة ، أفران القوس الكهربى ، الاضاءة بالفلورسنت وكابحات التيار .

يؤدى تحسين معامل القدرة إلى :

أ – وفر سعة (Capacity) للاستفادة بها فى توسعات أو انشاءات جديدة

ب – انخفاض الفقد بشبكة التغذية الكهربائية

وفيما يلى توضيح كل ميزة

أ – السعة الموفرة للاستفادة بها بالنظم الجديدة

(Released capacity for new system)

نحصل على قيمة الوفر فى السعة المتحررة نتيجة تحسين معامل القدرة من PF_c إلـــى PF_a تبعا للمعادلة :

AUCS = (KVA1 - KVA2) * DC * MY ..... $/year [1]

حيث:

AUCS = annual utility cost savings, $

= قيمة الوفر السنوى للمرفق

KVA1 = current average monthly billing demand , kw month

= average kw demand / current power factor

= متوسط طلب الطاقة الحالى (ك.و) / معامل القدرة الحالى

= kw / PF_C

KVA2 = anticipated average monthly billing

= average kw demand / anticipated power factor

= متوسط طلب الطاقة المتوقع (ك.و) / معامل القدرة المتوقع

= kw / PF_a

MY = months per year demand is charged

عدد الاشهر بالسنة والمدفوع لها تكلفة طلب الطاقة

حيث يمثل (KVA1 - KVA2) السعة الموفرة نتيجة تحسين معامل القدرة

DC = demand charge , $ / kw

= ($ / kw) التكلفة لكل ك. وات

PF_c = current power factor = معامل القدرة الحالى

PF_a = anticipated power factor = معامل القدرة المتوقع

ب – انخفاض الفقد (Loss reduction)

يمكن ان يكون العائد نتيجة الانخفاض فى الفقد كافيا أو معادلا لتكلفة تركيب المكثفات وتكون معادلة وفر التكلفة السنوى فى الفقد بخط التغذية

ALCS = [1- (PFc / PFa) ^2] * LLP * KWH * AEC ..... $/year… [2]

حيث :-

ALCS = annual line cost savings, $

= قيمة الوفر السنوى بالخط (دولار)

PFc = current power factor = معامل القدرة الحالى

PFa = anticipated power factor = معامل القدرة المتوقع

LLP = line loss percentage

نسبة الفقد فى خط التغذية والتى تفرض حوالى 2.5 % فقد فى القدرة اعتمادا على عدد ساعات الحمل الكامل وساعات عدم الحمل وعلى مقاسات الكابلات وطولها .... بحيث يكون أقصى هبوط فى الجهد 5 % عند اى ماكينة بالمنشآة

KWH = plant energy consumption per year,kwhr/yr (from utility bills)

= (KWh / Yr) الاستهلاك السنوى من فاتورة الكهرباء

AEC = yearly average energy charge , $ / kwhr (from utility bills)

= متوسط تكلفة الطاقة السنوى ($ / kwh) من فاتورة الكهرباء

وتمثل القيمة $[1-(PF_c/PF_a)^2]$ الانخفاض فى الفقد

2 - تركيب متحكمات تحسين معامل القدرة للمحركات

(Install power factor controllers on motors)

عند تركيب أجهزة تحسين معامل القدرة للمحركات AC ستنخفض التيارات غـــير الفعالـــة (Reactive Current) .

لايعتبر وفر القدرة الناتج من التيارات غير الفعالة ذى قيمة محسوســـة ولا يشـــارك فـــى مفقـــودات الطاقـــة . تكـــون قدرة اجهزة تحسين معامل القدرة للمحركات على شـــكل (T) (T. Frame motors) أكبر من مثيلاتها للمحركات على شكل (U) (U. Frame motors) والتى لها نفس القدرة والسرعة والتصميم .

وعمـــوما فان معامل قدرة المحركات على شكل T أقل من معامـــل قـــدرة المحركات علـــى شكل U.

فيما يلى استنتاج معادلة وفورات حافز تركيب مكثفات تحسين معامل القدرة للمحركات .

وتكون معادلة وفر الطاقة السنوى كالاتى :

AES = (PIKW - NIKW) * IOH + (PFLKW - NFLKW)* FOH ..... [3]

حيث :

AES = annual energy saving = وفر الطاقة السنوى

PFLKW = HP * (0.746 kw /hp) / η_p

PIKW = PFLKW * LF

NFLKW = HP * (0.746 kw /hp) η_n

NIKW = NFLKW * NLF

حيث :

PFLKW = Present full load kw

= الحمل الكامل الحالى ك . وات

PIKW = Present Idling kw

= القدرة ك.وات الحالية عند عدم الحمل

NFLKW = New Full load kw

= الحمل الكامل الجديد ك . وات

NIKW = New Idling kw

= القدرة ك.وات الجديدة عند عدم الحمل

HP = motor horsepower = القدرة الحصانية للمحرك

η_p = present full load motor efficiency

الكفاءة الحالية للمحرك عند الحمل الكامل (نحصل عليها من جداول كفاءة المحركات)

η_n = new full load motor efficiency

الكفاءة الجديدة للمحرك عند الحمل الكامل =

LF = load Factor at idling

عامل الحمل عند عدم الحمل =

NLF = new load factor at idling

عامل الحمل الجديد عند عدم الحمل =

FOH = operating hours at full load

عدد ساعات التشغيل عند الحمل الكامل =

IOH = operating hours at idling

عدد ساعات التشغيل عند عدم الحمل =



3 - تركيب متحكم في الطلب / جهاز طرح الحمل

(Install demand controller / load shedder)

لتقليل أو الحد من أقصى طلب peak demand يركب جهاز تحكم فى الطلب أو جهاز طـــرح الحمل .

عنــد إزاحـــة الأحمـــال ، وليس تخفيضها ، فلن يحدث وفر فى الطاقة ... ولكن يحدث وفر في الطلب .

المعادلة التالية توضح قيمة الوفر السنوي

$$ACS = DS * DC * MY \qquad [4]$$

حيث :

ACS = annual cost saving
= قيمة الوفر السنوى

DS = demand savings , kw
= وفورات الطلب (ك.وات)

DC = demand charge , $ / kw
= تكلفة الطلب (دولار / ك.وات)

MY = month per year saving will occur
= عد اشهر السنة الحادث بها وفورات الطلب

مثال :

مصنع مشروبات غازية أقصى طلب (kw) يحدث خلال اشهر الصيـــف (مـــن شـــهر أبريل حتى سبتمبر) من كل عام . أظهرت فرص الترشيد انه يمكن ترحيـــل حمـــل بعـــض العمليات إلى فترة خارج الذروة بقيمة

DS = 50 kw
MY = 6 month
DC = 7.3 LE / kw
ACS = 50 x 6 x 7.3 = 2190 LE/year

4 – تخفيض سعة المحول **Reduce transformer capacity**

اذا كانت نسبة تحميل احد المحولات منخفضة ، فيمكن تحميل هذا المحول بأحمال محول آخر ذى أحمال منخفضة أيضا أو إعادة توزيع الأحمال بالمنشآة ، بحيث يتم فصل هذا المحول . وبفصل المحول غير المحمل أو ذي الأحمال المنخفضة يمكن تجنب مفقودات اللاحمل (no - load losses)

توصف مفقودات اللاحمل للمحولات بأنها مفقودات مستمرة ومستديمة ، ومنسوبة إلى الجانب الابتدائى للمحول .

وتوضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوى الناتج عن تجنب مفقودات اللاحمل بفصل المحولات فى حالة عدم التحميل أو التحميل المنخفض :

$$AES = RC * NL * OT \qquad KWh \qquad [5]$$

حيث :

AES = annual energy saving
= وفر الطاقة السنوى

RC = rated capacity , kw
= سعة مقنن المحول (ك.وات)

NL = fraction loss with no load
= نسبة مفقودات اللاحمل

OT = off time of transformer hr/yr
= عدد ساعات فصل المحول فى السنة (ساعة / سنة)

من المرجع (Kent's Mechanical Engineers Handbook , 12 th Edition) أن:

- محولات التوزيع ذات القدرات أقل من 500 ك.ف.أ تكون مفقودات اللاحمل 1 %
- محولات التوزيع ذات القدرات 500 ك.ف.أ وأكبر تكون مفقودات اللاحمل 0.3 %

5 – فحص درجة دقة عداد القدرة (Check accuracy of power meter)

توضح المعادلة التالية قيمة الوفر السنوي الناتج من تركيب أجهزة قياس ذي درجـــة دقـــة عالية .

$$ACS = ED * RU \qquad [6]$$

حيث :

ACS = annual cost saving

= قيمة الوفر السنوي

RU = rate per unit of electrical power ,($ / kw)

= قيمة وحده القدرة الكهربائية (دولار / ك.وات)

ED = excess demand due to meter error (kw)

= زيادة الطلب نتيجة خطأ العداد (وحدة ك.وات)

يمكن حساب الطلب (kw) من عداد الطاقة (watt - hour meter) بأستخدام المعادلة التالية

$$KW = 3.6 * Kh * M * R/T$$

حيث :

Kh=gearing ratio between disk rotation and movement of hands on the meter

= نسبة التعشيق بين دوران القرص وحركة مؤشر العداد

M = product of the ratio of current or potential transformers , if in use

= حاصل ضرب نسبة تحويل محولات التيار أو الجهد (عند استخدامهم)

R = number of disk revolutions measured in time T

= عدد مرات دورات القرص مقاسة بالزمن (T)

T = time in seconds

= الزمن بالثانية

6 - تخفيض التعريفة Reduce rates

يمكن الوصول إلى أقل تعريفة ممكنة عن طريق إعادة جدولة التعريفة أو أجـــراء تغـــيرات معينة في خدمة الكهرباء المقدمة للمستهلكين .. مثلا في حالة وجود التعريفة المزدوجة أو المتعددة فيمكن نقل بعض الأحمال من فترات ذروة الحمل (on - peak) إلى فترات الحمـــل المنخفض (off - peak) ...

توضح المعادلة التالية قيمة الوفر السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

$$ACS = (DS * DC * MY) + (DS * LF * OH * EC) \qquad [7]$$

حيث :

ACS = annual cost saving

= قيمة الوفر السنوى

DS = demand shifted (amount of kw saved)

= الطلب المزاح (كمية الوفر بالكيلووات)

DC = demand cost $/kw (from electric bills)

= قيمة الطلب من فواتير الكهرباء (بوحدة دولار / ك.وات)

MY = months per year

= عدد شهور السنة التى سيتم فيها هذا الوفر

LF = average load factor over operating hours

= متوسط عامل الحمل خلال ساعات التشغيل

OH = operating hours shifted from on-peak to off-peak , per year (due to demand shift)

= ساعات التشغيل المزاحة من فترة ذروة الحمل إلى فترة الحمل المنخفض فى السنة

EC = differential electric cost between on-peak and off-peakhours,$/kwh

= فرق سعر الكهرباء بين فترة ذروة الحمل وفترة الحمل المنخفض

= (بوحدة دولار/ك.و.س)

٧ - الاستفادة من التحكم فى ادارة القدرة لتخفيض السعر بمعرفة مرفق الكهرباء
(Take advantage of utility controlled power management for price reduction)

بعض مرافـق الكهرباء تتحكم فى ادارة القدرة عن طريق تحديد الأحمـال غـير الحرجـة (non-critical loads) من خـلال جـدول زمنى للسعر (Rate Schedules) وذلك بتعريفـة مخفضة

باستخدام المعادلة التالية يمكن حساب قيمةالوفر السنوى عند الاستفادة بهذه الفرصة

ACS = TD * DR [8]

حيث :

ACS = annual cost saving
= قيمة الوفر السنوى

TD = total demand shifted , kw
= الطلب الكلى المتأثر (وحدة ك . وات)

DR = difference in rates , $/kw
= اختلاف التعريفة (بوحدة دولار / ك.وات)

8 – تخفيض القيمة المقابلة لتأخير دفع الرسوم (Reduce late Fees)

يجب دفع فواتير مرفق الكهرباء تبعا لجدولها الزمني للتغلب على غرامات تأخير دفع الرسوم عندئذ تكون قيمة الوفر السنوي مساوية للقيم المدفوعة نتيجة للتأخير.

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تطبيق هذه الفرصة

$$AES = NB * PLC \quad [9]$$

حيث :

AES = annual energy saving

وفر الطاقة السنوي =

NB = original billed amount , $ (from utility bill)

قيمة الفواتير الأصلية ، من فواتير مرفق الكهرباء (بوحدة الدولار) =

PLC = percent charged as late fees (from utility bill)

نسبة السعر المقابل لتأخير الدفع (من فواتير مرفق الكهرباء) =



9 – تركيب موحدات ذات الكفاءة (Install efficient rectifiers)

توصـــى هـــذه الفرصـــة باستـــبدال الموحدات العادية أو معدات توليد التيار المستمر (DC generating equipment) بموحدات ذات الكفاءة .

توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوى عند تطبيق هذه الفرصة

$$AES = HP * (0.746kw/hp) * HY * \left\{ \frac{1}{\eta_c} - \frac{1}{\eta_a} \right\} \qquad [10]$$

حيث :

AES = annual energy saving

= وفر الطاقة السنوى

HP = total power rating of connected motors , (HP)

= القدرة الكلية للمحركات الموصلة (بوحدة الحصان)

HY = operating hours per year

= عدد ساعات التشغيل فى السنة

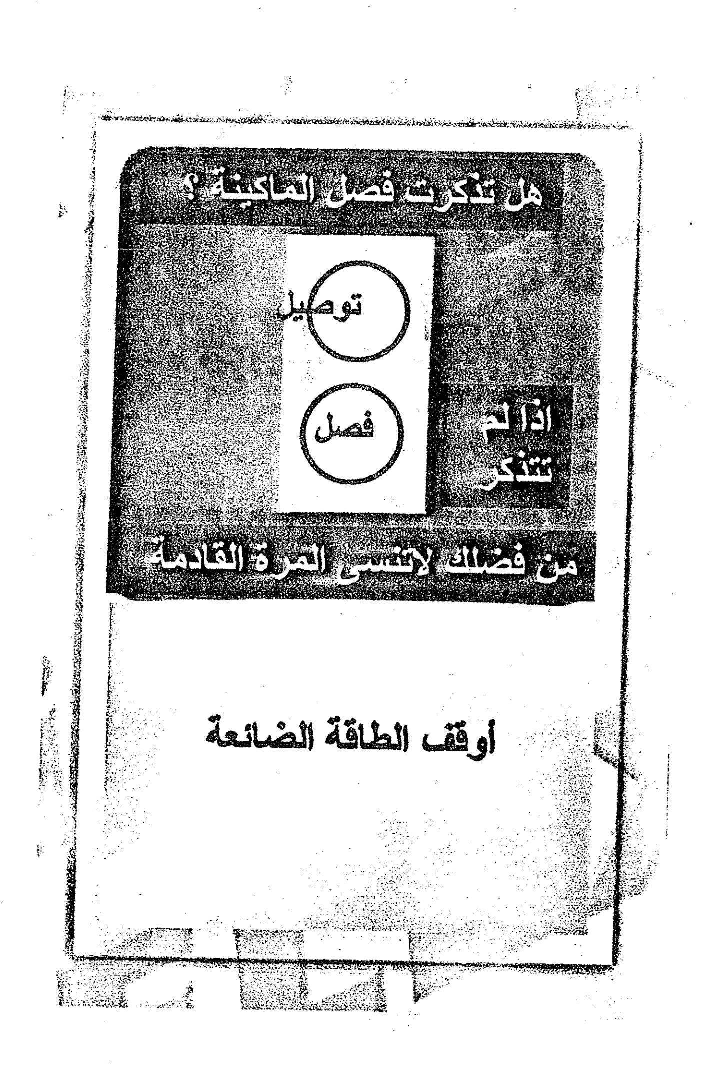
η_c = current average efficiency of all connected motors

= متوسط الكفاءة الحالية للمحركات الموصلة (من جداول كفاءة المحركات)

η_a = anticipated average efficiency

= متوسط الكفاءة المتوقعة




هل تذكرت فصل الماكينة ؟
توصيل
فصل
اذا لم
تتذكر
من فضلك لاتنسى المرة القادمة
أوقف الطاقة الضائعة

الباب الحادي عشر

نظم المحركات الكهربائية وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Electric Motor Systems And Potential of Energy Saving

مقـــدمة :

في الأنشطة الصناعية والتجارية ، تمثل النظم المُدارة بالمحركات أكثر مـــن 70% مـــن استهلاك الكهرباء بهذه المنشآت . بعض الصناعات مثل الصناعات الورقية (اللب و الورق) (Pulp and Paper) والنسيج (Textile) يمكن أن يصل استهلاك الكهرباء لنظم المحركـــات بها إلى 90% من الاستهلاك الكلي لهذه الصناعات .

يمكن أن تستهلك المحركات قدرة زائدة في الحالات الآتية :

- التثبيت غير الملائم للمحركات .
- احتكاك المحاور (Bearing wear) (تقلل كفاءة المحرك) .
- التحميل غير المناسب .
- اختلاف جهود التغذية (في حالة المحركات ثلاثية الأطوار) .

توصـــى مصانع المحركات ثلاثية الأطوار ، بعدم تشغيل المحركات إذا تعدى عدم اتـــزان الجهد (Unbalance voltage) نسبة 1%

ولقد تطورت صناعة المحركات خلال القرن الماضي ، يوضح جدول (1-11) نموذج لتطـــور صناعة محرك قدرة 5 حصان & 1800 لفة/الدقيقة من حيث الوزن – ولقد كان ســـعر هـــذا المحرك 880 دولار عام 1888 ، بينما أصبح الآن يباع بربع السعر .

جدول (1-11) مقارنة وزن محرك قدرة 5 حصان خلال الأعوام من 1888 وحتى 1965

السنـــة	1888	1905	1913	1930	1947	1954	1965
الوزن (باوند)*	1000	210	175	147	130	110	80

* الباوند (Pound) هو الرطل الإنجليزي ويساوي حوالي 453 جرام

مفقودات المحرك (Motor Losses)

تنقسم المفقودات بالمحرك إلى :

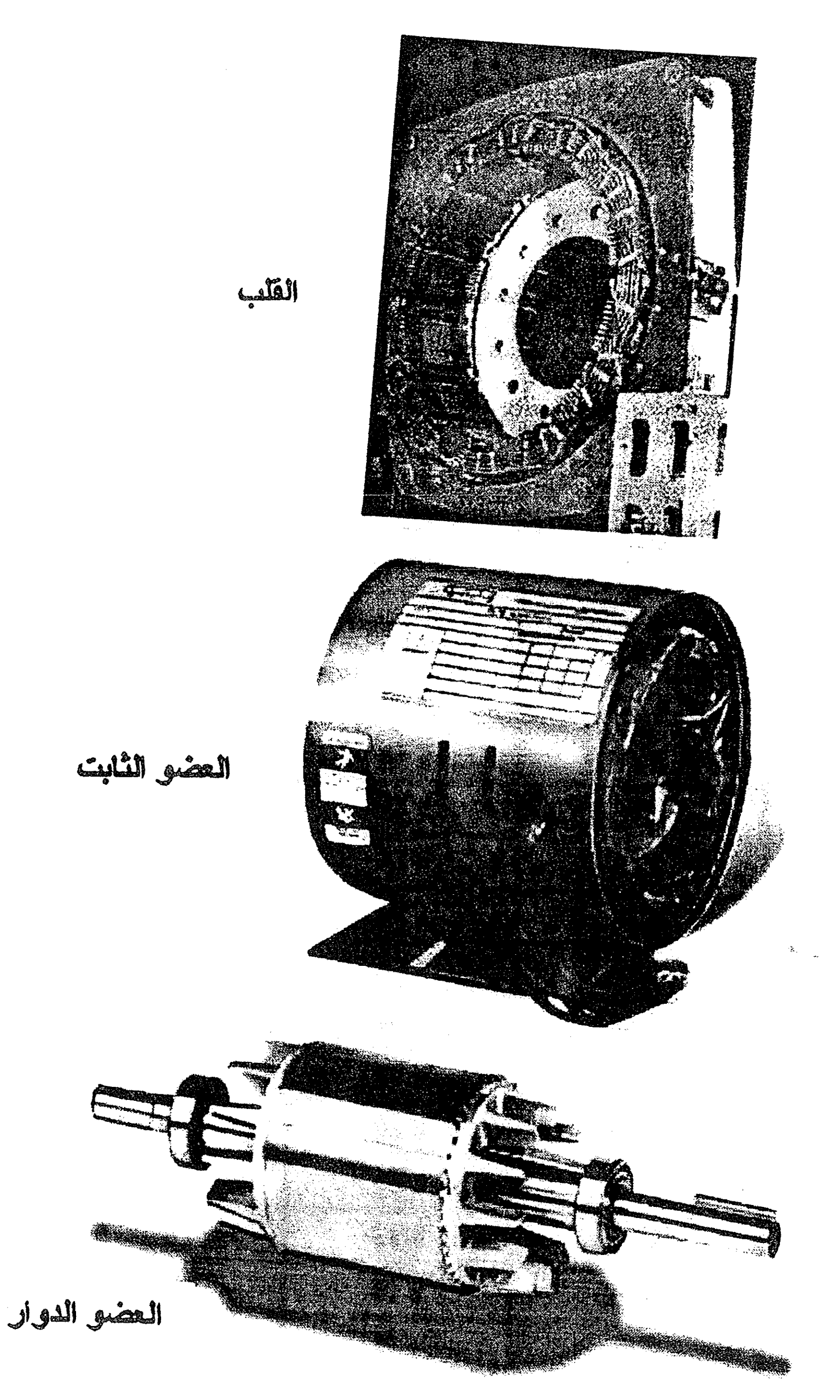
- مفقودات الحديد أو القلب (Core or Iron Losses)
- مفقودات العضو الثابت (Stator Losses)
- مفقودات العضو الدوار (Rotor Losses)
- مفقودات الاحتكاك والملفات (Friction and Windage Losses)
- مفقودات الأحمال نتيجة التيارات الشاردة (Stray Load Losses)

يوضح شكل (11-1) مكونات المحرك المسببة للمفقودات

يوضح جدول (11-2) نسبة كل فقد كنسبة من الفقد الكلي وبعض التوصيات لتخفيض المفقودات

جدول (11-2) نسبة الفقد وكيفية تخفيضها

نوع المفقودات	نسبة الفقد	كيفية تخفيض المفقودات
مفقودات الحديد أو القلب	25%	يمكن تخفيض هذه المفقودات باستخدام صلب عالي الجودة وله خاصية فقد منخفض (مثل الصلب السليكوني) وبسمك رفيع ، ويصمم القلب أطول لتقليل كثافة فيض التشغيل .
مفقودات العضو الثابت	35%	تتناسب مفقودات العضو الثابت مع حاصل ضرب مربع التيار في مقاومة الملف . ولتخفيض هذه المفقودات تستخدم موصلات نحاس عالي الجودة وبسمك أكبر ، وبذلك تنخفض المقاومة بملفات المحرك وبالتالي ينخفض الفقد .
مفقودات العضو الدوار	25%	تتناسب مفقودات العضو الدوار مع حاصل ضرب مربع التيار في مقاومة الملف . لتخفيض هذه المفقودات يستخدم صلب عالي الجودة وقضبان موصلات أكبر ، وبذلك تنخفض مقاومة العضو الدوار .
مفقودات الاحتكاك والملفات	5%	تنخفض هذه المفقودات باستخدام كراسي تحميل ومواد تشحيم عالية الجودة واستخدام مراوح جيدة .
مفقودات الأحمال الشاردة	10%	للمحركات ذات التصميم الجيد تنخفض نسبة هذه المفقودات بالإضافة إلى استخدام نظم تحكم جيدة .



شكل (1-11) مكونات المحرك المسببة المفقودات

كفاءة ومعامل قدرة المحرك

تعرف كفاءة المحرك (Efficiency) بأنها النسبة بين قدرة مخرج المحرك (Power output) وقدرة مصدر التغذية (Source power input) . ويمثل الفرق بين قدرة المدخل وقدرة المخرج مجموع المفقودات الكهربائية والميكانيكية ... أي أن لتحسين كفاءة المحرك يجب تخفيض المفقودات ...تتصف المحركات الكبيرة (ذات القدرات العالية) بمستوى كفاءة تشغيل عالية والتي تكون أكبر من كفاءة تشغيل المحركات ذات القدرات المنخفضة . للمحركات التأثيرية الكبيرة تصل الكفاءة إلى 0.95 عند الحمل الكامل

يوضح جدول (3-11) قيم كفاءة وقدرة المحركات التقليدية .

ويوضح شكل (2-11) العلاقة بين قدرة المحرك وكل من معامل القدرة والتيار والكفاءة ويلاحظ أنه كلما زادت نسبة تحميل المحرك كلما استقرت الكفاءة عند قيمة عالية .

وبناء على حمل المحرك وتصميم المحرك فإن أقصى كفاءة للمحرك تتراوح بين 75%& 110% كنسبة تحميل من الحمل الكلي للمحرك.

وهناك علاقة بين معامل قدرة المحرك وكفاءة المحرك ،حيث يصاحب انخفاض معامل القدرة انخفاض الكفاءة . فمثلا لمحرك (110 Kw) :

- الكفاءة عند الحمل الكامل 92%
- الكفاءة عند 3/4 الحمل 91%
- الكفاءة عند 1/2 الحمل 89%

كذلك يتغير معامل قدرة المحرك تبعا لنسبة التحميل كما هو واضح في شكل (3-11)

وعموما فان المحركات ذات معامل القدرة المرتفع تكون مصنعه من خامات أفضل ولها عمر تشغيل وفترة ضمان أطول ..

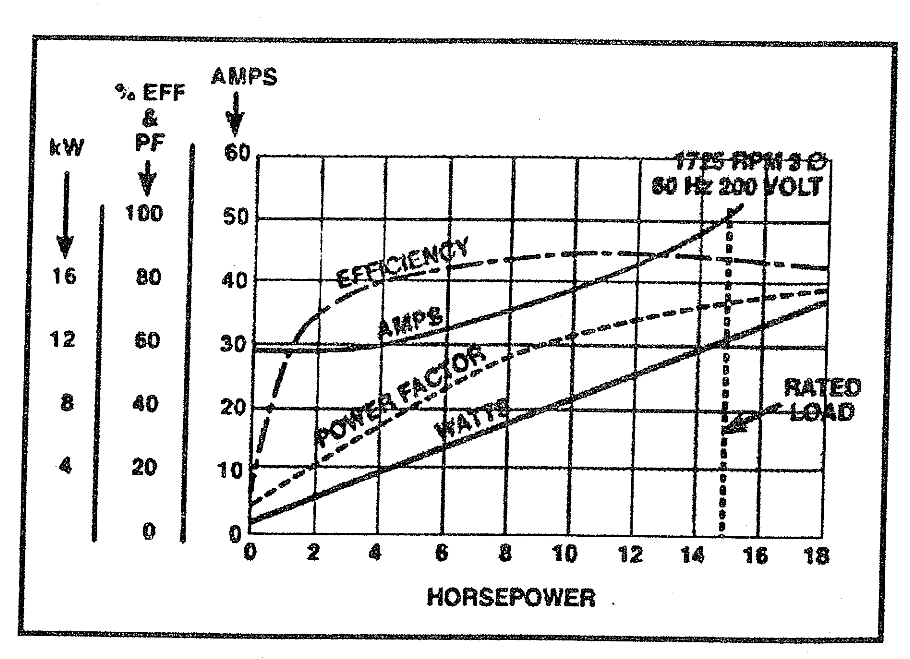
يوضح جدول (4-11) الكفاءة ومعامل القدرة لمحركات 4 أقطاب/ثلاثة أطوار قدرات مختلفة

يوضح جدول (5-11) كفاءة ومعامل قدرة محركات أحادية الطور قدرات مختلفة

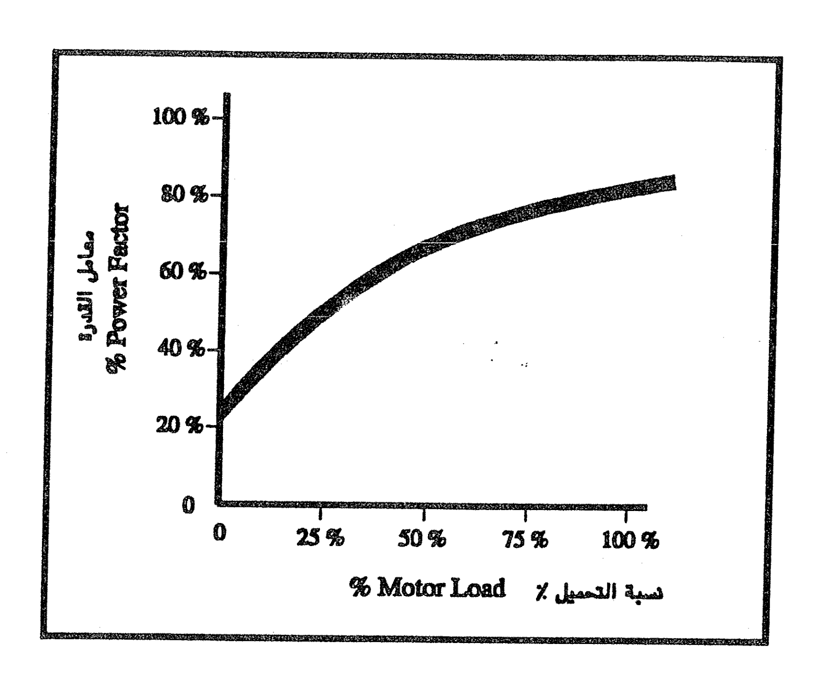
يبين جدول (6-11) معامل قدر ة وكفاءة محركات مراوح تبريد تعمل عند سرعة 1800 rpm (1800 لفة/دقيقة)

جدول (3-11) كفاءة وقدرة المحركات التقليدية

قدرة المحرك	الكفاءة تبعا للسرعة		
HP	3600 RPM	1800 RPM	1200 RPM
1	75.7	82.5	80
1.5	82.5	84.0	85
2	84.0	84.0	86.5
3	85.5	87.5	87.5
5	87.5	87.5	87.5
7.5	88.5	89.5	89.5
10	89.5	89.5	89.5
15	90.2	91.0	90.2
20	90.2	91.0	90.2
25	91.0	92.4	91.7
30	91.0	92.4	91.7
40	91.7	93.0	93.0
50	92.4	93.0	93.0
60	93.0	93.6	93.6
75	93.0	94.1	93.6
100	93.6	94.5	94.1
125	94.5	94.5	94.1
150	94.5	95.0	95.0
200	95.0	95.0	95.0
AVE. 36 HP	89.6	91.0	90.0



شكل (2-11) العلاقة بين قدرة المحرك ومعامل القدرة والتيار والكفاءة



شكل (3 - 11) العلاقة بين نسبة تحميل المحرك ومعامل القدرة

جـــــدول (11-4)

القدرة kw	0.37	0.75	2.2	5.5	11	30	110	355
الكفاءة %	66.2	74	82.5	86.4	89.2	91.6	93.2	94.9
معامل القدرة	0.69	0.83	0.84	0.85	0.86	0.89	0.91	0.88

جـــــدول (11-5)

القدرة kw	0.25	0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2
الكفاءة %	63	68	69	70	72	76	78
معامل القدرة	0.6	0.63	0.66	0.7	0.74	0.84	0.86

جدول (6 – 11) معامل قدرة وكفاءة محركات مراوح تبريد تدور عند 1800 rpm

جدول القدرة الحصانية HP RANGE	3-30	40-100
الكفاءة عند η%at 1/2 Load 3/4 Load Full Load	 0.83.3 85.8 86.2	 89.2 90.7 90.9
معامل القدرة عند P.F.at 1/2 Load 3/4 Load Full Load	 70.1 79.2 83.5	 79.2 85.4 87.4

المحركات عالية الكفاءة High efficiency motors

" High efficiency " it generally means ' something higher than our standard efficient motor "

تصميم محركات القدرة عالية الكفاءة بحيث :

1- تعمل المواد المغناطيسية (magnetic material) المستخدمة عند الحمل الكامل بأقل كثافة مغناطيسية (magnetic density) وبذلك تقل مفقودات الحديد .

2 - عند تجميع وتثقيب شرائح (Laminations) العضو الدوار والعضو الثابت ، فإنه يتم ثقل والتخلص من الرايش وبذلك تقل مفقودات التيارات الإعصارية (Eddy current loss) في المادة الصلبة للشرائح .

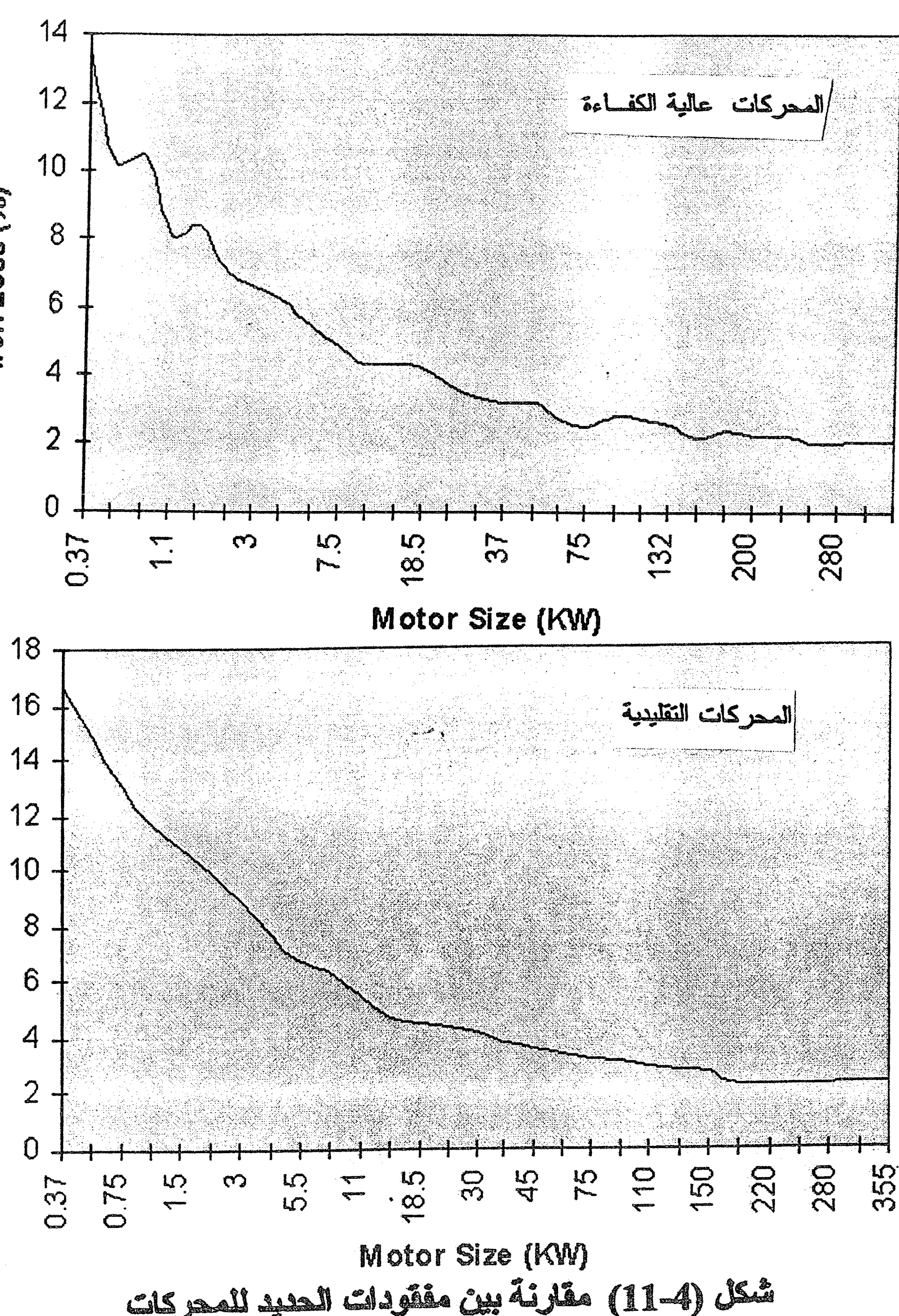
3 - تقليل الثغرة الهوائية (Air gap) بين العضو الدوار والعضو الثابت بمسافة تساوى أقل من جزء من الألف من البوصة (1000/1 من البوصة) .

4 - استخدام مواد عازلة رقيقة محسنة وجديدة لعزل الأسلاك والمجارى (Slots) .

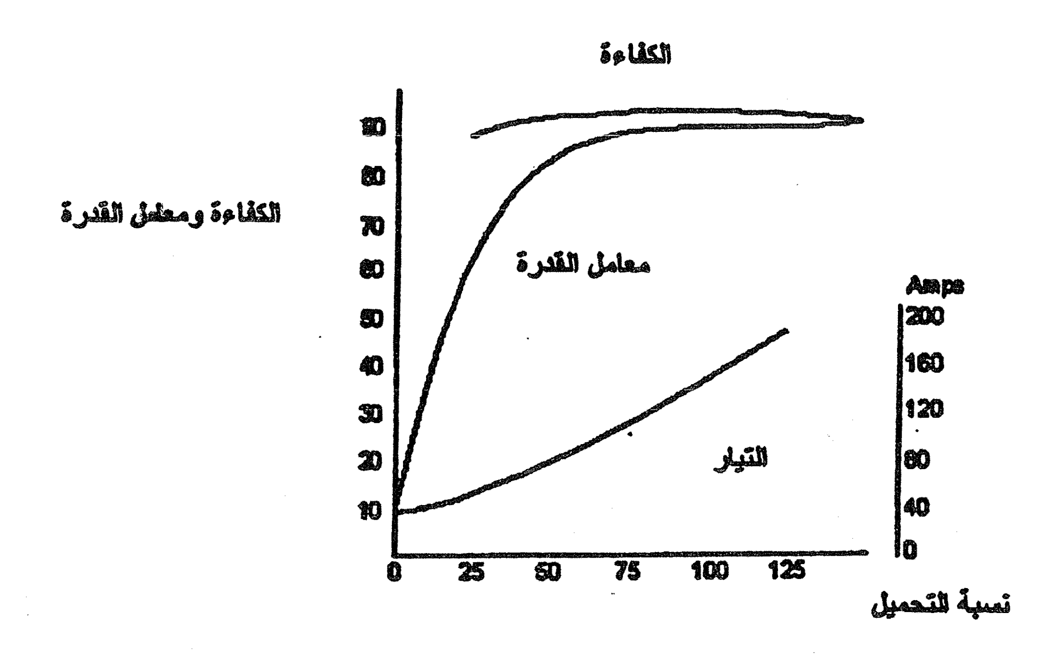
يوضح شكل (11-4) مقارنة بين مفقودات الحديد للمحركات عالية الكفاءة والمحركات التقليدية .

ويبين شكل (11-5) كفاءة ومعامل قدرة وتيار محرك تأثيري عالي الكفاءة قدرة 100 kw

في جدول (11-7) توجد مقارنة بين معامل القدرة والكفاءة للمحركات التقليدية والمحركات عالية الكفاءة عند نسب مختلفة من الحمل وعند سرعات مختلفة .



شكل (4-11) مقارنة بين مفقودات الحديد للمحركات عالية الكفاءة والمحركات التقليدية



شكل (5-11) كفاءة ومعامل قدرة محرك تأثيرى
عالى الكفاءة 110 Kw

جدول (7-11) مقارنة بين معامل القدرة والكفاءة للمحركات التقليدية طرازات (U,T) والمحركات عالية الكفاءة (EEM)

المحركات ذات القدرات الصغيرة									
حدود القدرة بالحصان	3 – 30 hp			3 – 30 hp			1.5 – 20 hp		
السرعة	3600 rpm			1800 rpm			1200 rpm		
النوع	U	T	EEM	U	T	EEM	U	T	EEM
الكفاءة (Efficiency)									
¼ load	84.0	84.7	86.9	86.0	86.2	89.2	84.1	82.9	86.1
¾ load	82.6	84.0	87.4	85.3	85.8	91.1	83.5	82.3	86.1
½ load	79.5	81.4	85.9	82.8	83.3	83.3	81.0	79.6	83.7
معامل القدرة (p.f)									
¼ load	90.8	90.3	86.6	85.3	83.5	85.8	78.1	77.0	73.7
¾ load	88.7	87.8	84.1	81.5	79.2	81.9	72.9	70.6	67.3
½ load	83.5	81.8	77.3	72.8	70.1	73.7	60.7	59.6	56.7

تابع جدول (7-11)

المحركات ذات القدرات الكبيرة									
حدود القدرة بالحصان	40 – 100 hp			40 – 100 hp			25 – 75 hp		
السرعة	3600 rpm			1800 rpm			1200 rpm		
النوع	U	T	EEM	U	T	EEM	U	T	EEM
الكفاءة (Efficiency)									
¼ load	89.7	89.6	91.6	90.8	90.9	92.9	90.4	90.1	92.1
¾ load	88.6	89.0	92.1	90.2	90.7	93.2	90.3	90.3	92.8
½ load	85.9	87.2	91.3	88.1	89.2	92.5	89.2	89.3	92.7
معامل القدرة (p.f)									
¼ load	91.7	91.5	89.1	88.7	87.4	87.6	88.3	88.5	86.0
¾ load	89.9	89.8	88.8	87.1	85.4	86.3	86.6	86.4	83.8
½ load	84.7	85.0	85.2	82.0	79.2	81.1	80.9	80.3	77.8

ويوضح جدول (8-11) مقارنة بين كفاءة المحركات التقليدية والمحركات عاليـــة الكفــاءة لقدرات مختلفة .

جدول (8-11) مقارنة بين كفاءة المحركات التقليدية والمحركات عالية الكفاءة

القدرة (حصان) hp Rating	كفاءة المحرك التقليدي Standard efficiency	كفاءة المحرك عالي الكفاءة High efficiency	فرق السعر نتيجة الكفاءة العالية Premium ($)
0.75	0.740	0.817	35
1	0.768	0.840	39
1.5	0.780	0.852	48
2	0.791	0.864	56
3	0.814	0.888	73
5	0.839	0.890	69
7.5	0.846	0.902	97
10	0.864	0.910	111
15	0.875	0.916	149
20	0.886	0.923	186
25	0.897	0.929	224
30	0.901	0.931	273
40	0.908	0.934	371
50	0.915	0.938	469
60	0.916	0.940	553
75	0.917	0.944	678
100	0.919	0.950	887
125	0.924	0.952	1,172
150	0.930	0.953	1,457
200	0.940	0.956	2,027
250	0.943	0.956	2,159

يؤدي استخدام محركات الطاقة عالية الكفاءة إلى تخفيض كل من:

- تكاليف الطاقة
- تكاليف التشغيل
- صيانة المعدات

توضح الأشكال (7-11) & (6-11) العلاقة بين قدرة المحرك وكل من معامل القدرة والكفاءة وذلك للمحرك التقليدي مقارنة بالمحرك عالي الكفاءة.

<u>نقاط هامة</u>

- إن استخدام محركات الطاقة عالية الكفاءة تؤدي إلى وفر حوالي 5% من تكاليف تشغيل المحركات التقليدية .
- الكفاءة النموذجية للمحركات التقليدية حوالي 90% بينما تصل إلى 93% لمحركات عالية الكفاءة .

مثال (1)

ما هو احتمال الوفر عند التحكم في عمل مضخة مياه التغذية (feed pump) عن طريق تغير السرعة بمدير السرعة المتغيرة (Adjustable speed drive)

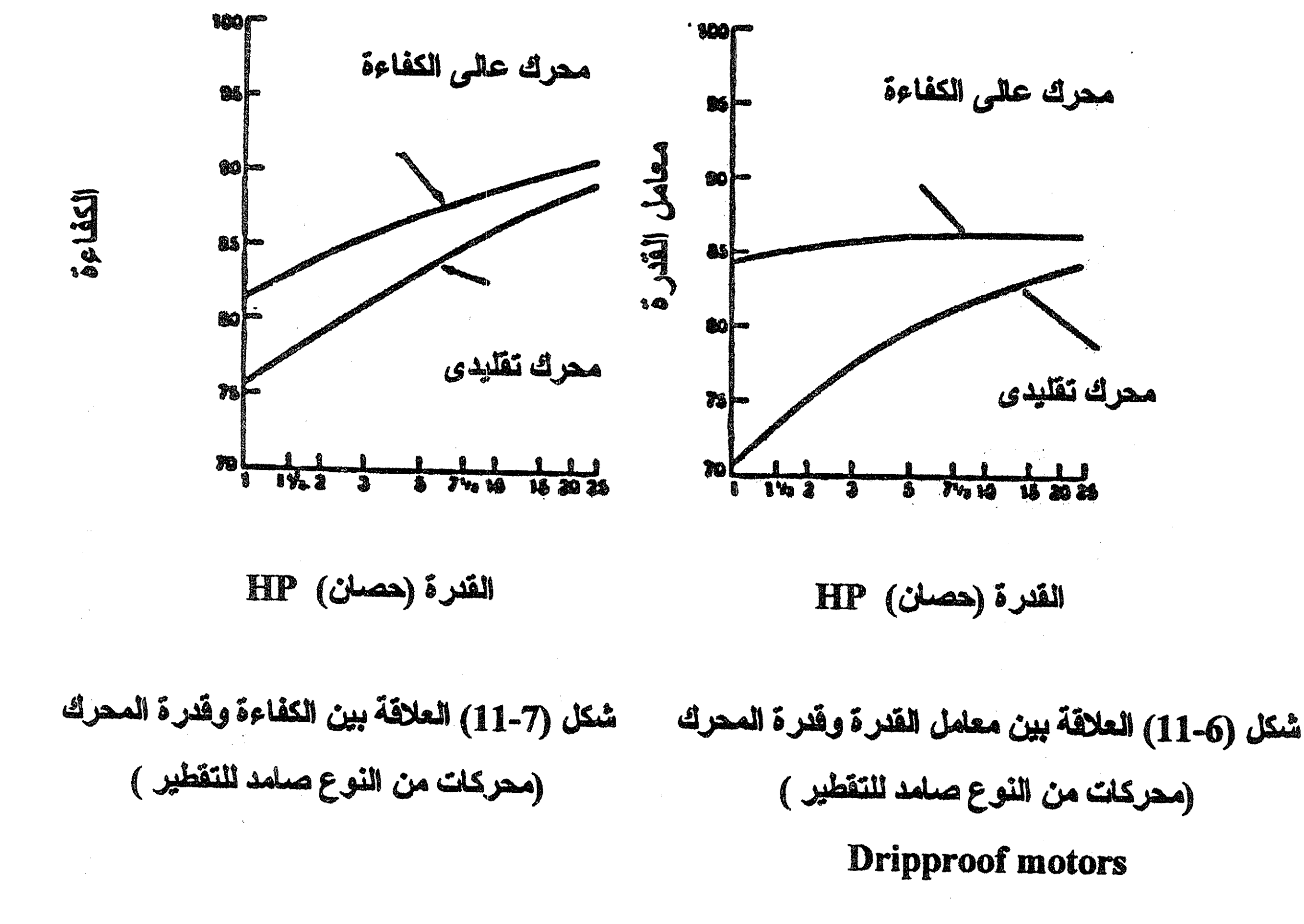
الحــل

يحسب الوفر المقابل لسرعات متغيرة

يوضح الجدول التالي ملخص النتائج

Energy Savings With Adjustable Speed Drive [ASD]

السرعة	(RPM)	100%	90%	85%	80%	75%
الطاقة المطلوبة	(Energy Requirement)	100%	81%	72%	64%	56%
الوفر	(Savings)	100%	19%	28%	36%	44%



شكل (11-6) العلاقة بين معامل القدرة وقدرة المحرك

(محركات من النوع صامد للتقطير)

Dripproof motors

شكل (11-7) العلاقة بين الكفاءة وقدرة المحرك

(محركات من النوع صامد للتقطير)

تعتمد نظريات ترشيد استخدام الطاقة فى المحركات على :

- تحسين كفاءة المحرك عن طريق تخفيض فقد الحديد
- تخفيض تيار المغنطة (Magnetizing current)

فرص ترشيد استخدام الطاقة للمحركات الكهربائية

1- السعة المثلى للمحركات طبقا للحمل (مواءمة المحرك للحمل)

2- استخدام المحركات ذات السرعات المتعددة أو مديرات السرعة المتغيرة للأحمال المتغيرة مثل الطلمبات (Pump) ، نافخ أو مروحة نفخ (Blower) أو ضاغط (Compressor) .

3- استبدال المحركات التقليدية بأخرى عالية الكفاءة .

4- تحسين عملية التشحيم أو التزييت (Lubrication) لمستخدمة للمعدات المدارة بمحرك .

5- استخدام سيور مخروطية عالية الكفاءة (Energy Efficient V-belts) للمعدات المدارة بمحرك .



وفيما يلي توضيح كل فرصة ترشيد .

1- السعة المثلى للمحرك طبقا للحمل

مـن المعلوم أن كفاءة جميـع المحركات التى تعمل عند الحمل الكـامل (Full load) أعلى من المحركات التى تعمل عند جزء من الحمل (Part load) ، وعـادة تعمـل أغلـب المحركات عند الكفاءة القصوى من 75% إلى 110% من حملها المقنن للحصـول علـى القدرة المثلى (Optimal power) للمحركات فيجب أن تعمل في هذه الحدود .

تستخدم المعادلة التالية للحصول على وفر الطاقة السنوي عند تأهيل المحرك أو المعـدات المدارة بالمحرك للعمل عند الكفاءة القصوى :

$$KWH\ \ Saved = HP * (0.7465) * HY * LE\left[1 - (\eta_C / \eta_b)\right] \qquad (1)$$

حيث :

KWH Saved = Annual Energy Saving = وفر الطاقة السنوي

HP = Average horse power of motor (s) = متوسط قدرة المحرك بالحصان

LF = Load factor = عامل الحمل

HY = Operating horse per year = ساعات التشغيل في السنة

H_C = Efficiency of current motor = كفاءة المحرك الحالي

H_P = Efficiency of proposed motor = كفاءة المحرك المقترح

ويلاحظ الآتي :

- أن عامل الحمل هو تقريبا نسبة زمن تشغيل المحرك عند الحمل الكامل .
- عند استخدام عدة محركات ، فيجب أن تكون الكفاءة متساوية وذلك لإمكانية الحصول على تقدير دقيق للوفر في الطاقة .

2- استخدام المحركات ذات السرعات المتعددة أو مديرات السرعة المتغيرة (مع الطلمبة ، النافخ ، الضاغط)

استخدام مدير السرعة القابلة للضبط أو المتغيرة (Variable or adjustable speed drive) (ASD or VSD) يخفض سرعة المحرك عن طريق ضبط تردد أو جهد أو تيار مدخل المحرك وبذلك يصبح أداء المحرك موائما للحمل الفعلي . تتناسب سرعة محرك التيار المتردد (AC) مع تردد المصدر . يقوم مدير السرعة بضبط تردد وجهد مصدر الكهرباء الثلاثي الطور (50 ذ/ث) للمحرك للتحكم فى سرعة محركات القفص السنجابي التأثيرية (AC squirrel cage induction motors) . وعلى ذلك ، فإن مديرات السرعة المتغيرة (ASD' or VSD's) تتحكم في سرعة المحرك بتخليق جهد وتردد مصدر التغذية للمحرك لكي يدور المحرك بالسرعة المناسبة للشغل المطلوب خلال مده معينة للتشغيل . هذه المديرات تتحكم في السرعة لمدى واسع مثلا من صفر إلى 300% من السرعة المقننة.

يمكن أن تجهز مديرات السرعة بدقة للتحكم في العمليات ، وأيضا توائم سرعة المعدات المدارة بالمحرك تبعا لتغير الأحمال المطلوبة .

تستخدم المعادلة التالية لحساب وفر الطاقة السنوي عند تطبيق فرصة استخدام مدير السرعة المتغيرة لمحرك :

$$\text{KWH saved} = \frac{(\text{HP1} - \text{HP2}) * 0.7465 * \text{HY} * \text{LF}}{\eta} \quad \text{kwh} \qquad (2)$$

حيث :

HP1 = Current motor horse power = القدرة الحالية للمحرك بالحصان

HP2=Anticipated effective motor horse = القدرة الفعلية المتوقعة للمحرك بالحصان

HY = operating hours per year = ساعات التشغيل فى السنة

LF = Load factor of equipment using motor

=عامل الحمل للمعدات المستخدمة للمحرك

η = motor efficiency = كفاءة المحرك

للمعدات ذات التفريغ المطلق (Free discharge) فيجب استخدام هذه العلاقة

$$\frac{HP2}{HP1} = \frac{Q_2^3}{Q_1^3}$$

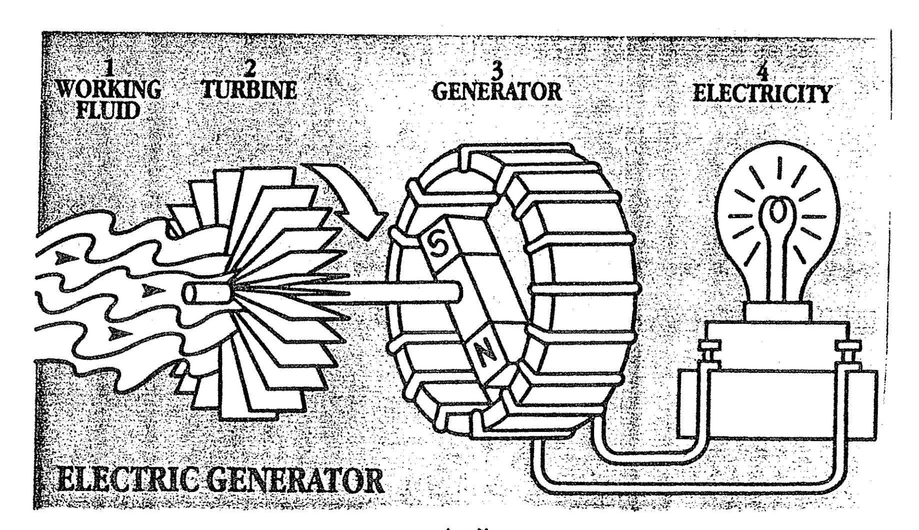
حيث :-

Q1 = current volume of flow , CFM = حجم السريان الحالي

Q2 = anticipated volume of flow , CFM = حجم السريان المتوقع

مع ملاحظة أن تستخدم نفس الوحدات لكل من Q1 ، Q2

في حالة وجود علو أستاتيكى (Static head) ، فيجب المعرفة الدقيقة لبيانات المضخة (pump) ومنحنيات النظام حتى يمكن حساب الانخفاض في القدرة بالحصان .



3- استبدال المحركات الحالية بمحركات الطاقة عالية الكفاءة

تتكون مفقودات المحرك من :

- مفقودات القلب Core Losses
- مفقودات العضو الثابت Stator Losses
- مفقودات العضو الدوار Rotor Losses
- مفقودات الحمل الشارد Stray load Losses
- مفقودات الملفات والاحتكاك Winding / friction Losses

تصمم محركات الكفاءة العالية بحيث تخفض هذه المفقودات لحوالي 2% إلى 10% فمثلا للمحركات ذات السعة من 7.5 إلى 125 حصان ، تكون المفقودات في حدود من 2% إلى 7% كذلك للحصول على مفقودات منخفضة ، تكون معاملات القدرة power factor للمحركات عالية الكفاءة مرتفعة خلال التشغيل .

باستخدام المعادلة التالية نحصل على وفر الطاقة السنوي عند استبدال المحركات التقليدية بأخرى عالية الكفاءة

$$\text{KWH saved} = \text{HP} \times \text{LF} * 0.7465 * \text{HY}\left[\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2}\right] \qquad (3)$$

حيث:-

HP = Required motor horsepower = قدرة المحرك المطلوب بالحصان

LF = load factor = عامل الحمل

HY = operating hours per year = ساعات التشغيل في السنة

η_1 = current motor efficiency = كفاءة المحرك الحالية

η_2 = anticipated motor efficiency = كفاءة المحرك المتوقعة

4- تحسين عملية التشحيم أو التزييت المستخدمة للمعدات المدارة بالمحركات

يستبدل الزيت بمجموعة تروس المحركات بزيـــوت اصطناعيـــة (synthetic oil) لتقليـــل مفقودات الاحتكاك . تدعي إحدى شركات تصنيع الزيوت الاصطناعية بأن استخدام زيوتـــها لتزييت مجموعة التـــروس تخفض متوســـط الاستهلاك بنسبة من 5% - 10% ، ويرجـــع ذلك لارتفاع لزوجة (viscosity) الزيت والذي بدوره يقلل فقد القدرة في مجموعة التروس. توضح المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عند تحسين عملية التزييت

$$\text{KWH saved} = \frac{HP * PS * LF * (0.7465) * HY}{\eta} \qquad (4)$$

حيث :-

HP = horse power of motor drive equipment

قدرة المعدات المدارة بالمحرك

PS = fractional saving due to synthetic oil (enter as a decimal value)

نسبة الوفر نتيجة استخدام الزيت الاصطناعي (كسر عشري)

LF = Load factor = عامل الحمل

HY = operating hours per year = ساعات التشغيل في السنة

η = Efficiency of motor = كفاءة المحرك

5- استخدام سيور مخروطية عالية الكفاءة للمعدات المدارة بمحرك

يجب استبدال سيور نقل القدرة (power transmission belts) بأخرى عاليـــة الكفـاءة ، لتقليل مفقودات نقل القدرة . ويفضل استبدال السيور المخروطية التقليدية بأخرى حرف (v) مسننة (cogged v - belt). تعتمد السيور (v) المسننة على الاحتكاك لنقل القدرة وبالتـــالي فإنه يمكن استخدام نفس البكر (pulleys) المستخدمة للسيور (v) التقليدية والتي يوجد بـــها مجارى عمودية على طول السير لتقليل مقاومة ثنى الســـيور ، تثنـــى الســـيور المســـننة بسهولة أكثر وتساعد في تقليل مفقودات الثني . نموذجيا تكون كفاءة السيور المسننة أعلى بحوالي 2% من كفاءه السيور التقليدية. تكون أماكن تدوير السيور المسننة أكثر بـــرودة لأن لها طاقة امتصاص منخفضة. حيث لا يوجد انزلاق بين السير والبكرة مما يؤدى إلــــى نقل أقصي قدره ممكنة او بمعنى آخر تكون المفقودات اقل ما يمكن .

يوضح شكل (8-11) جزء من سير مخروطي مسنن

المعادلة التالية توضح وفر الطاقة السنوي الناتج من استبدال الســـيور التقليديـــة بـــأخرى مخروطية عالية الكفاءة .

$$KWH \quad saved = \frac{HP * PS * LF * (0.7465) * HY}{\eta} \qquad (5)$$

حيث :-

HP = total belt driven horse power القدرة الكلية المدارة بالسيور بالحصان

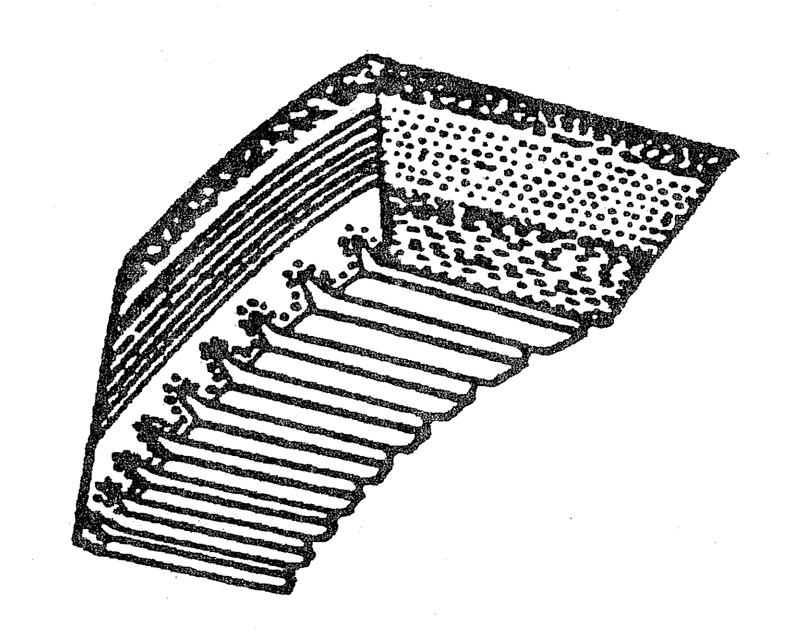
ps = power savings (about 0.02) due to insulation of cogged v-belts

وفر القدرة (المقدر بحوالي0.02) نتيجة استخدام سيور مخروطية

LF = Load factor عامل الحمل

HY = operating hours per year ساعات التشغيل في السنة

η = Efficiency الكفاءة



شكل (8-11) مقطع فى سير مخروطى مسنن

مثال (2)

مصنـــع ثلــج به ضاغط هواء قدرة 50 حصان ويعمل عند الحمل الكامل ، وجميـــع أيـــام السنة (365 يوم) إذا كانت تكلفة محرك ضاغط الهواء 1400 دولار ، وكفاءتــه 90% ، وتكلفة الكهرباء 7 دولار / ك.و/ شهر & 0.05 دولار / ك.و.س .

ما تكلفة تشغيل المحرك لضاغط الهواء خلال عام ؟

ما تكلفة تشغيل ضاغط الهواء خلال عشرة سنوات ؟

<u>الحـــــل</u>

الحمل الكهربي للضاغط = [(50 حصان) x (0.746 ك.و / حصان)]/0.9

= 41.44 ك.وات

تكلفة ك.وات في السنة = (41.44 ك.وات) x (7 دولار/ك.وات/شهر)x(12 شهر)

= 3481 دولار / السنة

تكلفة استهلاك الطاقة في السنة = (41.44 ك.وات) x (8760 ساعة / السنة) x (0.05 دولار/ ك.و.س)

= 18151 دولار / السنة

تكلفة الكهرباء الكلية لتشغيل المحرك = 3481+18151= 21992 دولار/ سنة

وحيث أن التكلفة الأولية لشراء المحرك = 1400 دولار

فإن تكلفة تشغيل المحرك وضاغط الهواء في خلال سنة تمثل أكثر مـــن 15 مـــرة التكلفـــة الأولية لشرائه ، أما تكلفة تشغيل المحرك وضاغط الهواء لمدة عشرة سنوات فإنها تمثـــل أكثر من 150 مرة من السعر الأولى لشراء المحرك .

مثال (3)

مصنع يعمل 5 أيام فى الأسبوع - بنظام الورديتين - أي حوالي 4160 ساعة في السـنة ، يريد شراء محرك قدرة 50 حصان ، 1760 دورة فـي الدقيقـة (rpm) كفـاءة المحـرك التقليدى (T-frame) تكون 86% ، بينما كفاءة محرك عالي الكفاءة 92%

احسب الوفر السنوي للطاقه عند شراء محرك عالي الكفاءة

الحــل

قدرة مخرج المحرك = (50 حصان) × (0.746 ك.و / حصان) = 37.3 ك.و

قدرة مدخل المحرك (T) = قدرة المخرج / الكفـاءة = 37.3 / 86% = 43.37 ك.و

وفر القدرة = 43.37 – 40.54 = 2.83 ك.و

وفر الطاقة السنوي = 2.83 × 4160 = 11773 ك.و.س

أو يمكن حساب وفر الطاقه السنوي

بتطبيق المعادلة رقم (3) وبفرض أن عامل الحمل يساوى الوحدة

وفر الطاقة السنوي = 50 × 0.746 × 4160 ((1 / 0.86) – (1 / 0.92))

= 11773 ك.و.س

مثال (4)

محرك يحتاج إلى قدرة فعالة 200 KW ، وقدرة ظاهرية 300 KVA

احسب : معامل قدرة المحرك ، القدرة غير الفعالة المسحوبة من مصدر التغذيـة ، القـدرة غير الفعالة اللازمة لتحسين معامل القدرة إلى 0.95

الحـــل

معامل قدرة المحرك = 200 KW / 300 KVA = 0.66

القدرة غير الفعالة المسحوبة من مصدر التغذية = $\sqrt{300^2 - 200^2} = 223.6\ KVAR$

القدرة الظاهرية المقابلة لمعامل القدرة 0.95 = 200 KW / 0.95 = 210.5 KVA

القدرة غير الفعالة المسحوبة = $\sqrt{210.5^2 - 200^2} = 65.7\ KVAR$

قدرة المكثف المطلوب = 223.6 – 65.7 = 157.9 KVAR

في حالة توافر جداول تحسين معامل القدرة ، فيتم حساب قدرة المكثف المطلوب كالآتي:

من جـــدول (9-11) لتحسين معامل القدرة من 0.66 إلى 0.95 نحصل على عامل ضرب يساوي 0.809

قدرة المكثف المطلوب = 200 KW × 0.809 = 161.8 KVAR

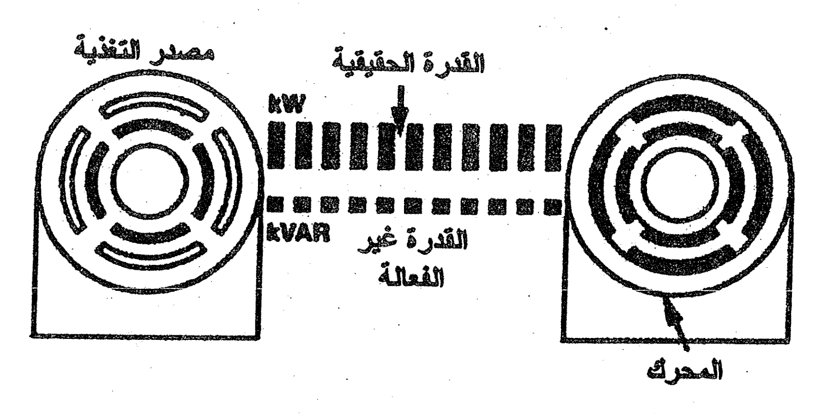
الاختلاف في قيمتي قدرة المكثف المطلوب في الحالتين بسيط ولا يمثل مشـكلة ، حيـث أن القيم المحسوبة يتم تقريبها إلى أقرب قيم متاحـــة بالســوق وطبقـا لتوصيـات مصنعـي المحركات.

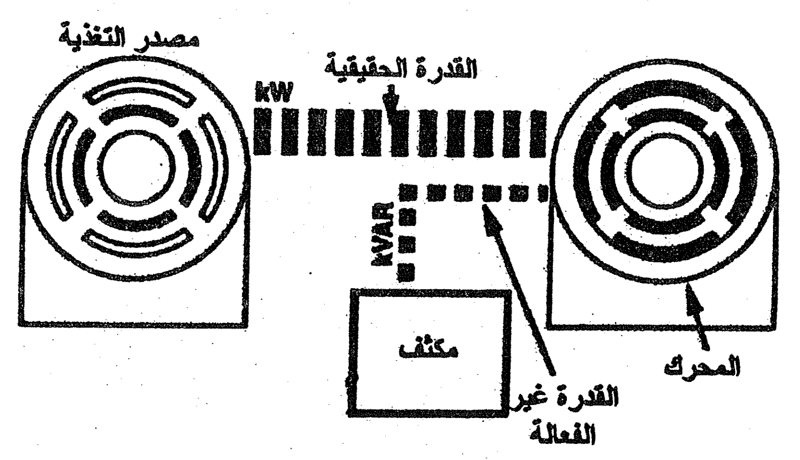
يوضح شكل (9-11) تمثيل محرك قبل وبعد إضافة مكثف تحسين معامل القدرة

جدول (9-11) عامل الضرب لتحسين معامل القدرة

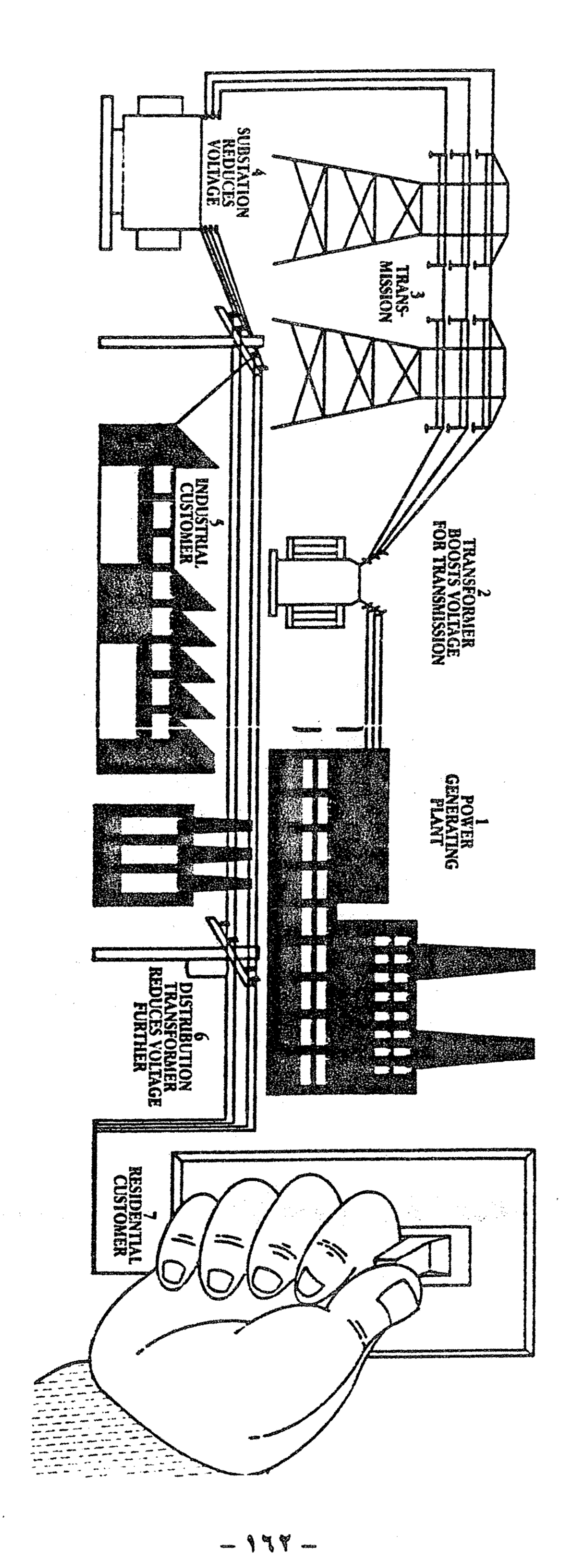
kW Multiplier to Determine kvar Requirement

Original PF	Corrected power factor										
	0.80	0.82	0.84	0.86	0.88	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00
0.50	0.982	1.034	1.086	1.139	1.192	1.248	1.306	1.369	1.440	1.529	1.732
0.52	0.893	0.945	0.997	1.049	1.103	1.158	1.217	1.280	1.351	1.440	1.643
0.54	0.809	0.861	0.913	0.965	1.019	1.074	1.133	1.196	1.267	1.356	1.559
0.56	0.729	0.781	0.834	0.886	0.940	0.995	1.053	1.116	1.188	1.276	1.479
0.58	0.655	0.707	0.759	0.811	0.865	0.920	0.979	1.042	1.113	1.201	1.405
0.60	0.583	0.635	0.687	0.740	0.794	0.849	0.907	0.970	1.042	1.130	1.333
0.62	0.515	0.567	0.620	0.672	0.726	0.781	0.839	0.903	0.974	1.062	1.265
0.64	0.451	0.503	0.555	0.607	0.661	0.716	0.775	0.838	0.909	0.998	1.201
0.66	0.388	0.440	0.492	0.545	0.599	0.654	0.712	0.775	0.847	0.935	1.138
0.68	0.328	0.380	0.432	0.485	0.539	0.594	0.652	0.715	0.787	0.875	1.078
0.70	0.270	0.322	0.374	0.427	0.480	0.536	0.594	0.657	0.729	0.817	1.020
0.72	0.214	0.266	0.318	0.370	0.424	0.480	0.538	0.601	0.672	0.761	0.964
0.74	0.159	0.211	0.263	0.316	0.369	0.425	0.483	0.546	0.617	0.706	0.909
0.76	0.105	0.157	0.209	0.262	0.315	0.371	0.429	0.492	0.563	0.652	0.855
0.78	0.052	0.104	0.156	0.209	0.263	0.318	0.376	0.439	0.511	0.599	0.802
0.80	0.000	0.052	0.104	0.157	0.210	0.266	0.324	0.387	0.458	0.547	0.750
0.82		0.000	0.052	0.105	0.158	0.214	0.272	0.335	0.406	0.495	0.698
0.84			0.000	0.053	0.106	0.162	0.220	0.283	0.354	0.443	0.646
0.86				0.000	0.054	0.109	0.167	0.230	0.302	0.390	0.593
0.88					0.000	0.055	0.114	0.177	0.248	0.337	0.540
0.90						0.000	0.058	0.121	0.193	0.281	0.484
0.92							0.000	0.063	0.134	0.223	0.426
0.94								0.000	0.071	0.160	0.363
0.96									0.000	0.089	0.292
0.98										0.000	0.203
1.00											0.000





شكل (9-11) تمثيل محرك قبل وبعد اضافة مكثف تحسين معامل القدرة


1
POWER
GENERATING
PLANT
2
TRANSFORMER
BOOSTS VOLTAGE
FOR TRANSMISSION
3
TRANS-
MISSION
4
SUBSTATION
REDUCES
VOLTAGE
5
INDUSTRIAL
CUSTOMER
6
DISTRIBUTION
TRANSFORMER
REDUCES VOLTAGE
FURTHER
7
RESIDENTIAL
CUSTOMER

الباب الثاني عشر

ضواغط الهواء وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Air Compressors
And Potential Of Energy Saving

مقدمة

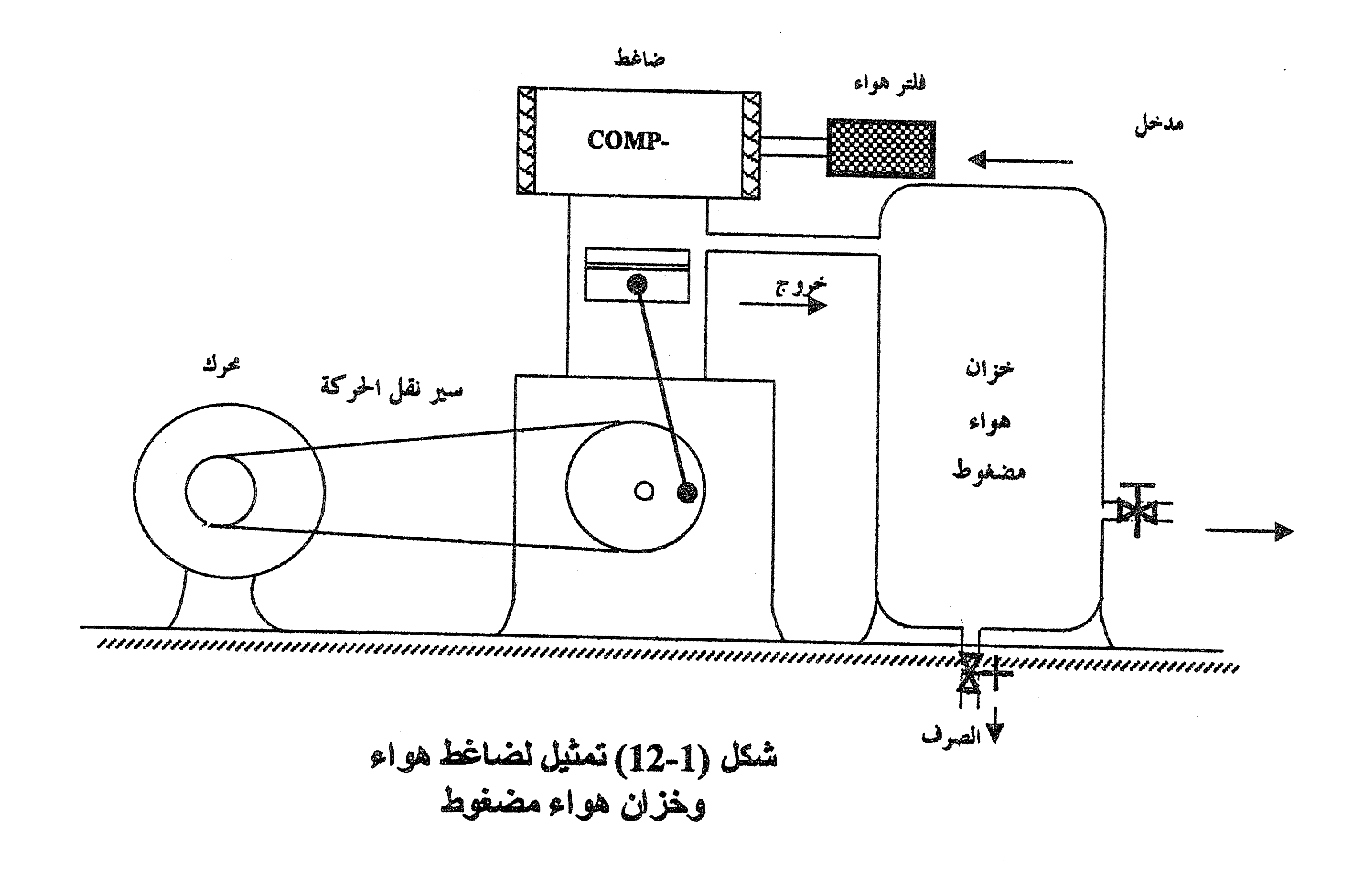
تعتبر ضواغط الهواء من المكونات الهامة بالصناعة،وتعتبر من اكثر العمليات تكلفه.تمثـــل تكلفه التشغيل السنوي لضواغط الهواء ،المجففات (dryers) والمعدات المســـــاعدة لـــها ، حوالي 70% من الاستهلاك الكلى للكهرباء . في المحطات الصناعيـــة تســـتخدم ضواغـــط الهواء لمدى واسع بداية من الأدوات اليدوية الصغيرة مثـــل المثقـــاب (driller)، ماكينـــة التجليخ أو المطحنة(grinder)، وفارز التيله (stapler) إلى عمليات تخزين الزيت للمـــزج (agitation of liquid storage and process tanks) في الخزانات حيث تحـــول المـــواد بالهواء المضغوط (pneumatic transfer of materials) . وتبلغ قيمة الضغط للهواء من 90 إلى 100 ضغط مقاس(gauge pressure) (p_{sig})

من دراسات سابقه وجد أن :

تكلفه تسرب الهواء المضغوط (عند $100\ p_{sig}$) :

من 30 إلى 90 دولار /فتحه تسريب/الوردية/السنة

يوضح شكل (12-1) تمثيل لضاغط هواء وخزان هواء مضغوط



شكل (12-1) تمثيل لضاغط هواء وخزان هواء مضغوط

استخدامات ضواغط الهواء

نحصل من الضواغط على هواء مضغوط (compressed air) عند ضغوط مختلفة مناسبة لطبيعة ونوع الاستخدام ، أو للحصول على ضغط عالي لغاز التبريد المستخدم في أجهزة التكييف . فيما يلي أمثلة لبعض الاستخدامات :

أ – فتح وغلق المحابس بالخطوط الهيدروليكية

ب – مصدر لتغذية ماكينة النفخ بصناعات البلاستيك

ج – في تطبيقات نظم التبريد والتكييف (مثل : الثلاجات – المبردات – أجهزة التكييف المركزي – أجهزة التكييف المنفصلة ...)

د – المطارق كما في صناعة الحديد و الصلب

س – استخدامات طبية

ص – عمليات التجفيف بصناعة الغزل والنسيج

و – محركات الشحن التوربينى (Turbo- charger) ، حيث يتم شحن الهواء المضغوط إلى غرف الاحتراق (السيارات)

أنواع ضواغط الهواء

توجد أنواع متعددة ولكن الأكثر شيوعا هما :

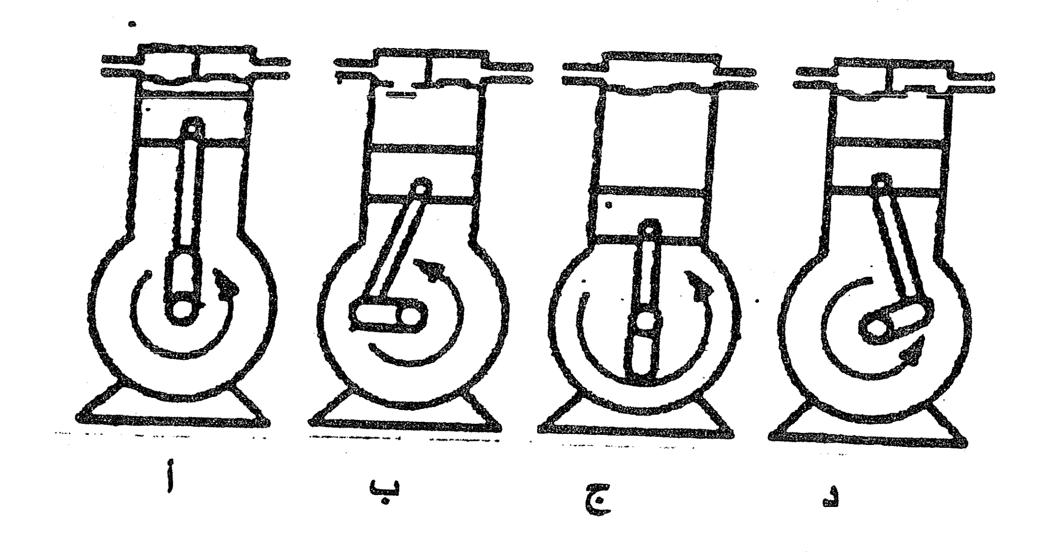
1 - ضاغط ترددي Reciprocating compressor

ضاغط ذو إزاحة موجبة ، يحتوى على كباس (أو أكثر) يتحرك في اسطوانة حركة مستقيمة متناوبة في اتجاهين متضادين . وعادة يستخدم في حالة معدل ضغط منخفض (Low pressure rate)

يوضح شكل (12-2) رسم تخطيطي لمراحل ضاغط ترددي

2 - ضاغط دوراني Rotary compressor

في هذا النوع يحدث الضغط في الاسطوانة عن طريق دوران عضو ذي إزاحة موجبة، مما يسبب تغيير متناوب في حجم غرفة الضغط ، قد يكون هذا العضو كباسا يتدحرج لامركزيا ملامسا ريشه أثناء دورانه في اسطوانة (كما في شكل (12-3))



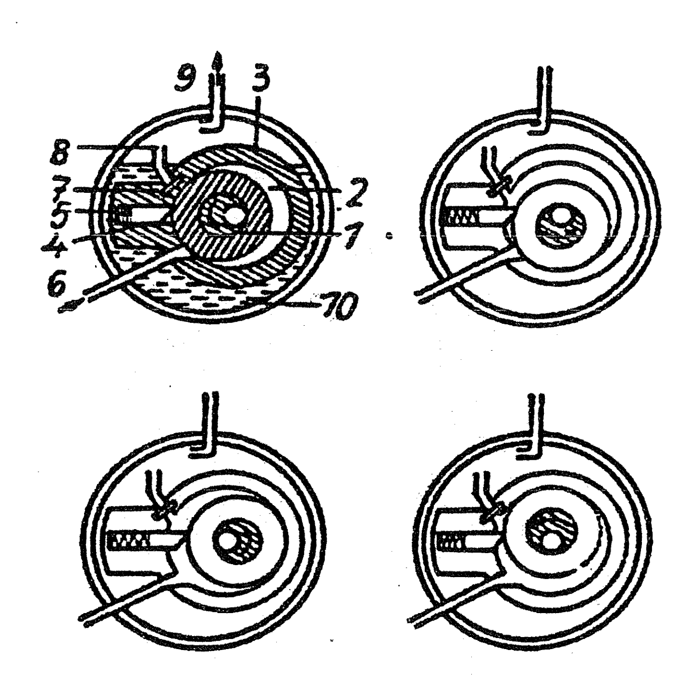
شكل (2-12) ضاغط ترددى

أ ـ الكباس عند النقطة الساكنة العليا

ب ـ صمام السحب مفتوح

ج ـ الكباس عند النقطة الساكنة السفلى

د ـ صمام التصريف مفتوح



شكل (3-12) ضاغط دورانى ذو كباس متدحرج

1 – عمود الادارة

2 – كباس متدحرج

3 – اسطوانة الكباس

4 – ريشة تضغط على الكباس

5 – زنبرك يضغط على الريشة

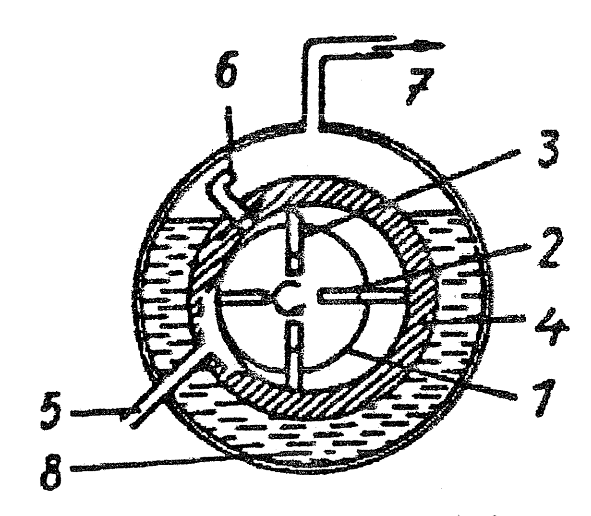
6 – مخرج السحب

7 – صمام التصريف

8 – مخرج التصريف

9 – إلى المكثف

10 – حمام الزيت



شكل (4-12) ضاغط دورانى ذو ريش

1 – العضو الدوار

2 – مشقبية بالعضو الدوار

3 – ريشة العضو الدوار

4 – أسطوانة

5 – مخرج السحب

6 – مخرج التصريف

7 – إلى المكثف

8 – صمام الزيت

أو يكون العضو ريش مركبة في مشقبيات بالعضو الدوار وتتحرك فيه خروجا ودخولا مـــع دورانه (كما في شكل (12-4)). وكلا النوعين يتم استخدامها في مجموعـــات التـــبريد . وعادة يستخدم الضاغط الدوراني للحصول على معدل ضغط عالي (High pressure rate)

فرص ترشيد الطاقة لضواغط الهواء :

1- تخفيض ضغط نظم الهواء المضغوط

Reduce pressure of compressed air system

2- تقليل استخدام الهواء المضغوط **Reduce compressed air use**

3- استخدام ضواغط أصغر **Use smaller compressor**

4- استخدام هواء بارد للمدخل ومراجعه المرشحات

Use cool intake air and check filters

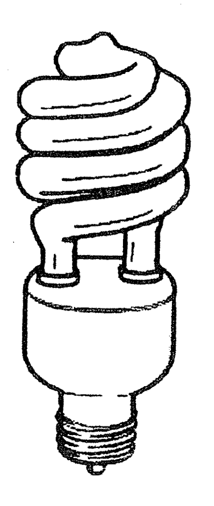
5- التخلص من تسرب الهواء **Eliminate leaks**

6- استخدام فوهات موجهه **Use engineered nozzles**

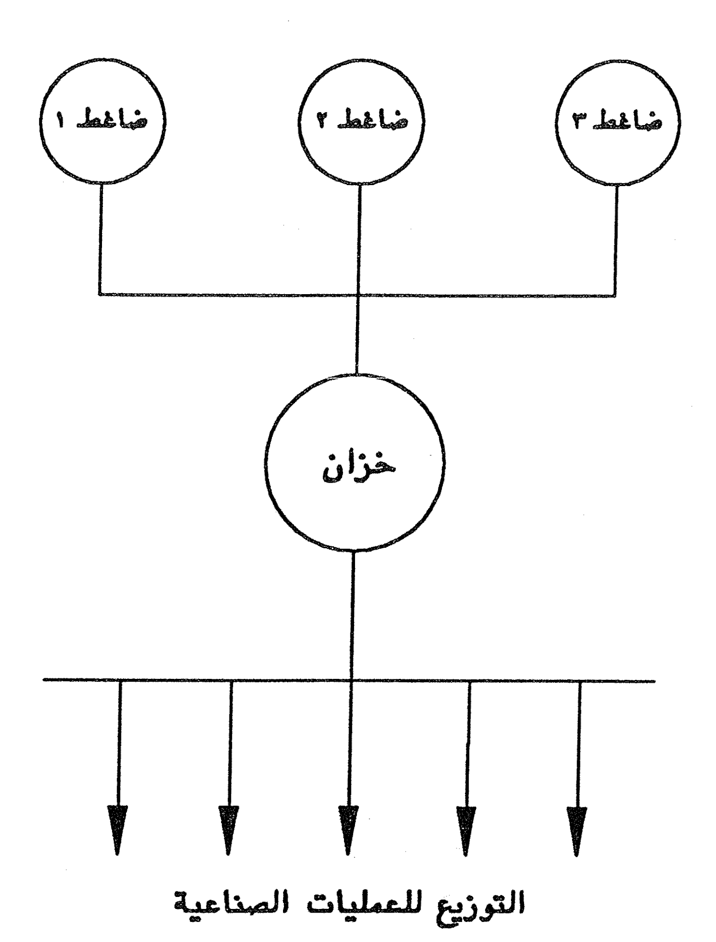
7- التحميل الأمثل لضواغط الهواء (الربط بين الضواغط)كما في شكل (12-5)

8- استخدام زيوت تبريد لقلب الضاغط بجودة عالية

سنعرض تعريف لكل فرصه .



23 watt
=
100 Watt



شكل (5-12) الربط بين ضواغط الهواء

1- تخفيض ضغط نظم الهواء المضغوط

للتغلب على تسريب الهواء الزائد أو عند أضافه إنشاءات جديده لمعدات الهواء (عندما تكون مواسير التوزيع اصغر من المقاس العادي) فانه يتـم زيـادة قيمـه ضبط ضغـط الـهواء (air pressure set -points) باعتبار ان اغلب أدوات ومعدات الـهواء المضغـوط تعمـل بصوره مرضيه عند ضبط 90 ضغط مقياسى (p_{sig})،وحيث ان نظم توزيع الهواء المضغـوط المصممة جيدا تتعرض لمتوسط هبوط فى الضغط حوالى 10 ضغط مقياسي (p_{sig})،عند ابعـد نقطه توزيع ، وعليه يجب أن تكون قيم ضبط ضغط الضاغط أعلى من المطلوب .

تصف المعادلة التالية وفر الطاقة السنوي عندما تكون قيمه ضبط الضغط مثاليه:

$$\text{KWH Saved} = \frac{HP * 0.7465 * HY * PS * LF * OC}{\eta} \qquad (1)$$

حيث

HP = Compressor motor horse power = قدره محرك الضاغط

HY = Operating hours per year =ساعات التشغيل فى السنه

PS = Percentage saving = نسبه الوفر

LF = Load factor* = عامل الحمل

OC = Operating cycle (cycling load factor due to power draw of compressor)

دوره التشغيل (يرجع عامل حمل الدورة الى سحب القدرة بالضاغط)

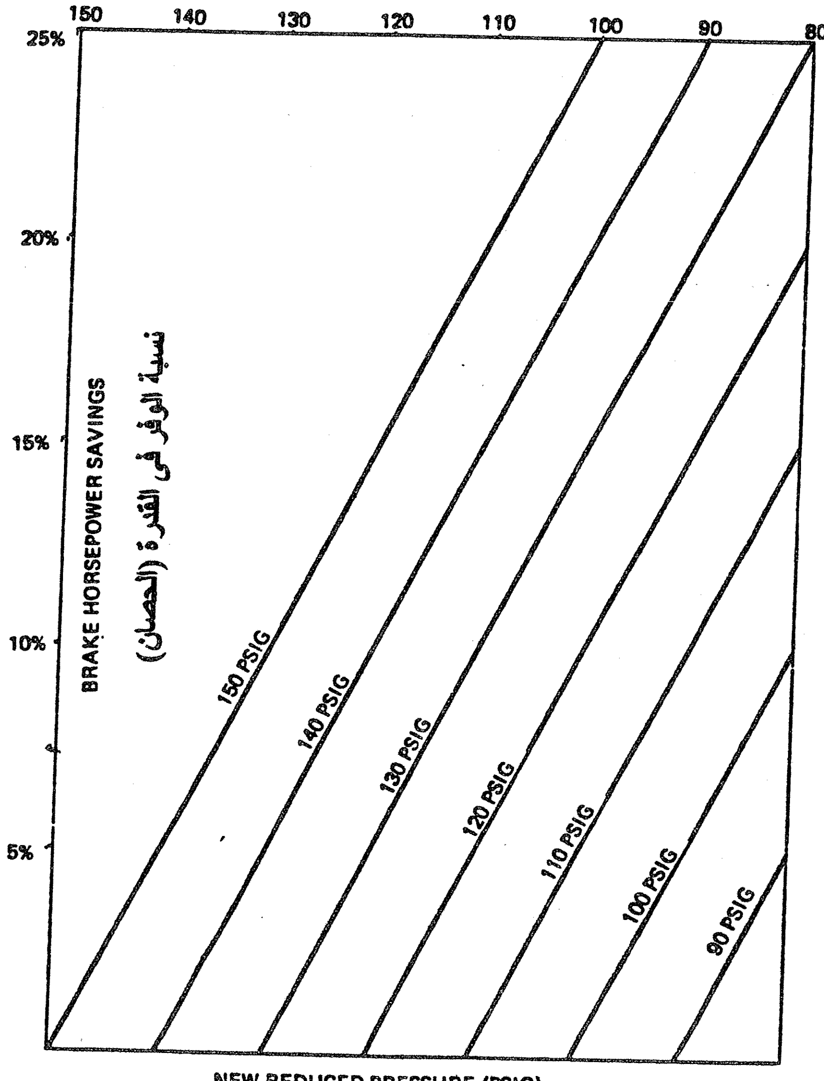
η = Compressor motor efficiency = كفاءه محرك الضاغط

من ملحق A يستخـدم جـدول (19-A) للحصـول على نسبـه الوفـر (باستخدام اختلاف ضغط التفريغ)

يمكن استخدام شكل (12-6) لحساب الوفر نتيجة تخفيض الضغط

---

*تكون عدد مرات تحميل المحرك نتيجة طلب العمليات



شكل (12-6) الوفر نتيجة تخفيض ضغط الهواء المضغوط

مثـــال

من دراسه حاله

ضاغط هواء 530 قدم^3/ دقيقه (cfm)

بتخفيض قيمه ضبط ضغط الهواء من 85 P_{sig} الى 71 P_{sig}

(وهى اقل قيمه لتشغيل صمام مجفف الهواء) ،انخفض استهلاك القدره بحوالى 20%

وهى تمثل وفر تقريبا 71000 ك.و.س

يقابلها وفر سنوى 3000 دولار



تفقد الطاقة عن طريق :-

الفتحات ـ العزل السيئ - الارضية

2 - تقليل استخدام الهواء المضغوط

أن تخفيض السريـــان الحجمى المطلـــق (absolute volumetric flow) يقلـــل تكلفـــه ضاغط الهواء .

فيما يلي بعض التوصيات التي تؤخذ في الاعتبار :

- قلل أو أحذف التبريد بالهواء المضغوط عندما يكون الهواء الخارجي كافي لتبريد معدات ومسارات العمليات
- قلل استخدام الهواء المضغوط بقدر الإمكان للتبريد أو للتقليب
- قلل أو قم بإلغاء استخدام الهواء المضغوط لتشغيل العمليات
- استبدل نظام التبريد بالهواء المضغوط بان تستخدم المياه أو الهواء البارد
- قلل استخدام ضغط نظام الهواء المضغوط لبعض انظمه الأمان

توضح المعادلة الآتية وفر الطاقة السنوي فى هذه الحالة

حيث

$$KWHsaved = \frac{HP * 0.7465 * HY * LF * ARF}{\eta} \qquad (2)$$

HP = Compressor horsepower = قدره الضاغط بالحصان

HY = Operating hours per year = ساعات التشغيل فى السنه

ARF = Air reduction factor (estimation of amount of air reduction that can accommodate process and equipment needs) عامل انخفاض الهواء

LF = Compressor load factor = عامل حمل الضاغط

η = Efficiency of compressor motor = كفاءة محرك الضاغط

3 - استخدام ضواغط اصغر

إذا تلاحظ استخدام ضواغط هواء أكبر من احتياج العمليـــات ، عندئــذ يوصـــى باســـتخدام ضواغط اصغر والتي ستساعد في تقليل تكاليف التشغيل

عندئذ تستخدم هذه المعادلة للحصول على وفر الطاقة السنوي

$$\text{KWH saved} = \left[\frac{HP1 * LF1}{\eta_1} - \frac{HP2 * LF2}{\eta_2} \right] * 0.7465 * HY \qquad (3)$$

حيث

HP_1= Larger compressor horsepower = قدرة الضاغط الأكبر

HP_2= Smaller compressor horsepower = قدرة الضاغط الأصغر

LF_1= Larger compressor Load factor = عامل حمل الضاغط الأكبر

LF_2= Smaller compressor Load factor = عامل حمل الضاغط الأصغر

HY= Operating hours per year = ساعات التشغيل فى السنة

η_1= Efficiency of Larger compressor = كفاءة الضاغط الأكبر

η_2= Efficiency of smaller compressor = كفاءة الضاغط الاصغر

4 - استخدام هواء بارد للمدخل ومراجعه المرشحات

نظف أو استبدل مرشحات الهواء للضاغط دوريا ، للحفاظ على ضغط التفريغ (Suction pressure) المطلوب . ولقد وجد أن كل 1% انخفاض فى ضغط التفريغ تكلف 1% من كفاءة ومخرج السريان للضاغط .

يوصى بالآتي:-

- استخدم مداخل هواء الضاغط عند أكثر المواضع برودة
- استخدم مبادل حراري (heat exchanger) لتبريد هواء المدخل إلى الضاغط

توضح المعادلة الآتية الوفر السنوي للطاقة الناتج من استخدام هواء مدخل بارد

$$\text{KWH saved} = \frac{HP * 0.7465 * HY * PS * LF}{\eta} \qquad (4)$$

حيث

HP = Compressor horsepower = قدره الضاغط بالحصان

PS = Percentage saving = نسبة الوفر

LF = Load factor = عامل الحمل

HY= Operating hours per year = ساعات التشغيل فى السنة

η = Efficiency of compressor motor = كفاءة محرك الضاغط

5 – التخلص من تسرب الهواء

تخلص من التسرب في صمامات وخطوط الهواء المضغوط أو الغازات الأخرى .

كذلك ألغى أو اغلق خطوط الهواء المضغوط التي ليس لها احتياج .

عاده يحدث التسرب من خلال الرباطات والصمامات وأماكن التثبيت والمنظمات .

يؤدى التسرب الواضح في الهواء المضغوط إلى حدوث صوت ، بينما التسريب الصغير يتم تحديده بأجهزة الكشف التي تعمل بالموجات فوق البنفسجية (ultrasonic) .

يتم حساب وفر الطاقة السنوي الناتج من تقليل تسريب الهواء المضغوط كالآتي :-

$$KWH \ \ saved = HES*HY \qquad (5)$$

حيث

HES = Hourly energy loss Btu/hr = فقد الطاقة فى الساعة

HY = Operating hours per year = ساعات التشغيل فى السنة



6 – استخدام فوهات موجهة

يجب استبدال فوهات النهاية المفتوحة (open end nozzles) بأخرى من النوع الموجه والتي لها المقدرة على تقليل سريان الهواء الكبير الداخل بينما يظل استخدام سعة هواء (volume of air) اقل عن المستخدم لفوهات النهاية المفتوحة . عندئذ تنخفض سرعة سريان الهواء الناتج ، ولكن يزيد السريان الكتلى للهواء (mass flow) ، وبالتالي يزيد تأثير التبريد .

يرجع وفر الطاقة نتيجة تخفيض عمل الضاغط المطلوب لتجهيز فوهات الهواء

$$\text{KWH saved} = \frac{HP * HY * PES * K * LF}{\eta} \qquad (6)$$

حيث

HP = Rated horsepower of compressor = قدرة الضاغط بالحصان

HY = Hours of compressor operation =ساعات تشغيل الضاغط

PES = Percent energy saving (1.5%) = نسبة الوفر فى الطاقة

LF = Estimated load factor of compressor = عامل الحمل المفروض للضاغط

η = Efficiency of compressor motor = كفاءة محرك الضاغط

K = Conversion factor , 0.002545 MMBtu/HP-hr = عامل التحويل

إرشادات عامة لنظم الهواء المضغوط

1 – فى حالة وجود تسريب هواء

- اصلح خطوط الهواء المضغوط التى حدث منها التسريب .
- اكشف عن التوصيلات والملحقات
- اذا كانت حالة خطوط الهواء المضغوط سيئة فيجب استبدالها.

2 – نظف دوريا مرشحات دخول الهواء المضغوط واستبدلها حسب الحالة

3 – حاول تخفيض مستويات ضغط الهواء المضغوط بما يتماشى مع الغرض من الاستخدام .

4 – حاول أن تقوم ضواغط الهواء بسحب الهواء من الأماكن الباردة وذلك بالاختيار المناسب لفتحات دخول الهواء .

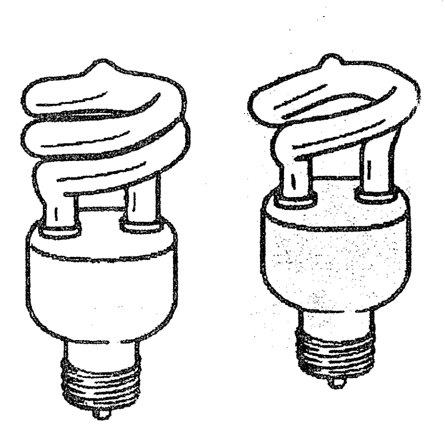
5 – استخدام مديرات السرعة المتغيرة لزيادة أو تخفيض عدد اللفات لكل دقيقة بما يتماشى مع الحاجة للهواء المضغوط .

1 – اغلق ضواغط الهواء في حالة عدم الاحتياج .

2 – امنع استخدام الهواء المضغوط للتبريد في أماكن العمل للأشخاص .

3 – امنع استخدام الهواء المضغوط في عمليات التنظيف .

4 – امنع استخدام الهواء ذو الضغط العالي لتقليب السوائل .



15 watt	11 watt
=	=
60 Watt	40 Watt


حافظ على الحرارة
المناسبة لسلامه
البيئة

الباب الثالث عشر

المضخات (الطلمبات)

وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Pumps and Potential of Energy Saving

مقدمة

توجد ثلاث أنواع رئيسية من المضخات هي :

أ- مضخات الطرد المركزي Centrifugal pumps

يستخدم هذا النوع على أوسع نطاق في مجموعات تكييف الهواء والتبريد .. وبالتطبيقات الصناعية ذات الضغوط العالية والصناعات البترولية.

تعتمد هذه المضخة في أدائها على القوة الطاردة المركزية . حيث يدخل السائل في المضخة فيتعرض لحركة نصف قطرية بواسطة عضو دوار ، وبذلك تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة استاتيكية .. يوجد من هذه المضخات النوع مفرد المرحلة ، أو متعدد المراحل ، كما قد تكون مفردة السحب أو مزدوجة السحب .

ب- مضخات ترددية Reciprocating pumps

غالبا تستخدم في التطبيقات المنزلية والصناعية للضغوط الصغيرة والمتوسطة .

ج- مضخات غشائية Diaphragm pumps

والتي تستخدم في عمليات الحقن الدقيق مثل الصناعات الكيماوية والأدوية والمعالجة..

عموما ، تستخدم المضخات لتحقيق العلو المطلوب (pressure head) داخل خطوط السائل وذلك للتغلب على المقاومة الناشئة من السريان (flow) داخل هذه الخطوط والسوائل التي تُضخ عادة هي وسائط التبريد ، والمحاليل الملحية ووسائط التبريد الثانوية الأخرى ، وزيوت التزييت والماء . تتفاوت تصميمات وسعات المضخات حسب الغرض من الاستعمال ونوع الأداء والمائع المراد ضخه ....

من أمثلة استخدامات المضخات :

- الحصول على المياه من الآبار
- عمليات رفع المياه من مستوى منخفض إلى مستوى أعلى
- محطات الرفع للخطوط (بترول – مياه – صرف ......)
- تعتمد الدوائر الهيدروليكية على المضخات مثل الأوناش ، الحفارات ، المحابس الهيدروليكية ، ....
- عمليات الحقن داخل خطوط الإنتاج ووحدات المعالجة
- دوائر التبريد خاصة وحدات التكييف المركزي التي تعمل بالمياه المبردة (chillers)
- الحصول على سريان ثابت ومنتظم في العمليات الصناعية المختلفة
- تغذية الأنظمة المختلفة بالمياه مثل تغذية الغلايات بمياه درجة حرارتها حتى °200 م عند ضغط حتى 110 بار (كجم / سم^2)

قانون الائتلاف (قانون المضخات) **Affinity Law**

هو مجموعة من العلاقات تنظم وتقنن الأداء الأساسي للمضخات ويمكن تلخيصها فيما يلي :

1- كمية السائل التي توردها المضخة تتناسب طرديا مع سرعة المضخة أي أن:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

حيث :

N = سرعة المضخة (rpm)

Q = كمية السريان (flow)

2- ضاغط (أو علو) المضخة يتناسب طرديا مع مربع سرعة المضخة

أي أن:

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 = \frac{H_1}{H_2}$$

حيث :

H = العلـــو (head) (بالقدم أو بالمتر)

3- القدرة الحصانية للمضخة تتناسب مع مكعب سرعة المضخة

أي أن:

$$\left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3 = \frac{HP_1}{HP_2}$$

حيث :

HP = القـــــدرة

يلخص جدول (1 – 13) قوانين المضخة

جدول (1- 13) قوانين المضخة

قطر المروحة Impeller diameter	السرعة Speed	الوزن النوعي Specific gravity	لتصحيح	يضرب في
ثابت	متغيرة	ثابت	السريان (Flow)	(السرعة الجديدة / السرعة القديمة)
			العلو (Head)	^{2}(السرعة الجديدة / السرعة القديمة)
			BHP أو KW	^{3}(السرعة الجديدة / السرعة القديمة)
متغير	ثابتة		السريان (Flow)	(القطر الجديد / القطر القديم)
			العلو (Head)	^{2}(القطر الجديد / القطر القديم)
			BHP أو KW	^{3}(القطر الجديد / القطر القديم)
ثابت		متغير	BHP أو KW	(الوزن النوعي الجديد/الوزن النوعي القديم)

BHP = Brake Horsepower

= (القدرة الحصانية (القدرة بالأحصنة مقيسة بالكبح

يتم اختيار المضخات لتعمل عند أقصى معدل سريان تصميمي Q_D (maximum design flow rate) وعند أقصى علو ديناميكي كلي تصميمي H_D (maximum design total dynamic head) حيث H_D مجموع العلو الاستاتيكي (Static)[1] ، وعلو الاحتكاك (Friction)[2] أو الديناميكي .

يبين شكل (1- 13) تمثيل لمضخة ترفع السائل من أسفل إلى أعلى موضحا عليها العلو الاستاتيكي والعلو الديناميكي .

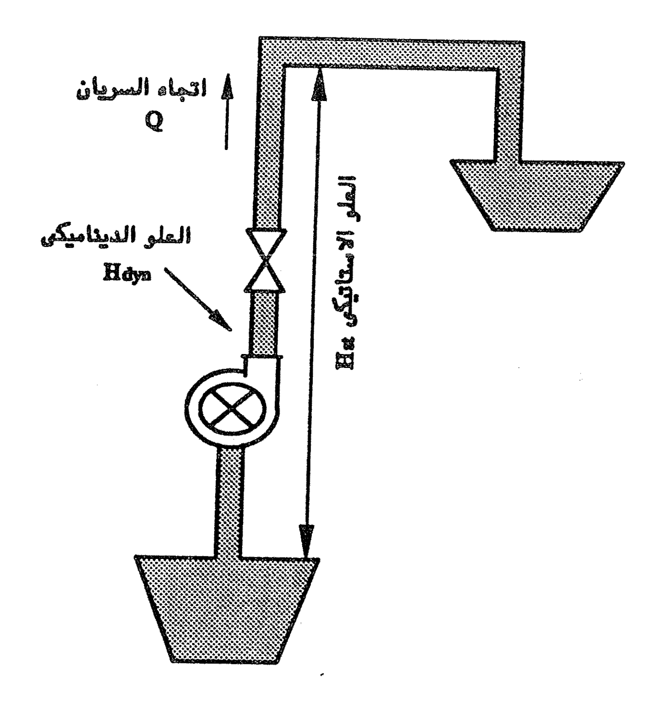
---

(1) العلو الاستاتيكي (static head)

أو (العلو السكوتي) : الضغط الناتج عن ارتفاع السائل

(2) علو الاحتكاك (friction head)

فقد الطاقة الناتج عن احتكاك السائل بالأنبوب



شكل (1 - 13) مضخة ترفع السائل من اسفل الى اعلى

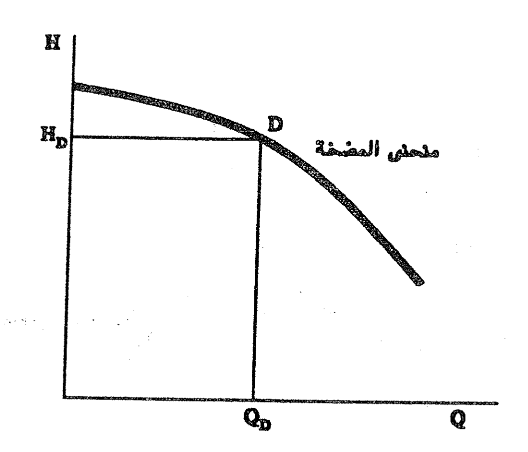
يوضـــح شكل (2 - 13) منحنى العلاقة بين H & Q للمضخة

يحتاج أي نظام إلى تحديد أقل علو استاتيكي نوعي H_{min} (specific minimum static head) في حالة عدم وجود أقل علو استاتيكي مثل حالة المسار المغلق للمياه الســــاخنة ، عندئذ يبدأ منحنى النظام من محـــوري الصفـــر لكل من العلو (H) والسريان (Q) ويصبـــح منحنى النظام ، الموضح في شكل (3- 13) يتغير بين علو الاحتكاك ومربع معــدل السريان.

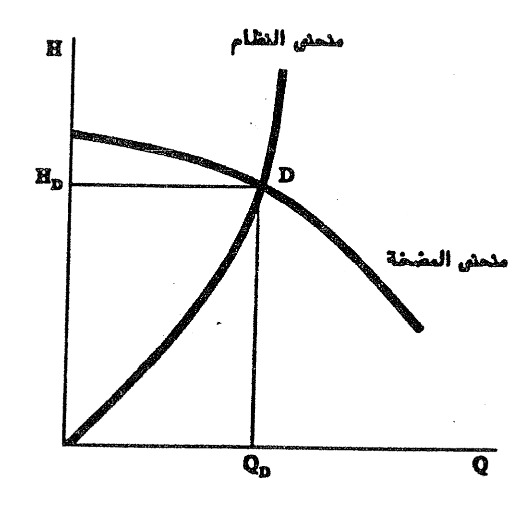
عموما ، أغلب الأنظمة يكون لها علو استاتيكي للتغلب على السريان قبل بداية أي سريان ، هذا يعني أن العلو الاستاتيكي يظل ثابتا لجميع قيم السريان وبالتالي لا يبدأ منحنى النظام من الصفر لأن المطلوب وجود علو استاتيكي كما في شكل (4- 13) .

عند استخدام مديرات السرعة المتغيرة VSD (variable speed drives) فإن هـــذا يعنـــي وجود عائلة من منحنيات المضخات لكل منحنى سرعة RPM ، كما في شكل (5 - 13) ويلاحــظ أن المنحنى RPM_4 يتقابل مع منحنى النظـــام عنـــد H_{min} ومعــدل ســريان يساوي الصفر . باستخدام قوانين المضخات يمكن تحديد أقل قدرة حصانية للمضخة وتكــون فرص ترشيد استخدام الطاقة المتاحة باختيار العلو بين H_D & H_{min} كالآتي :

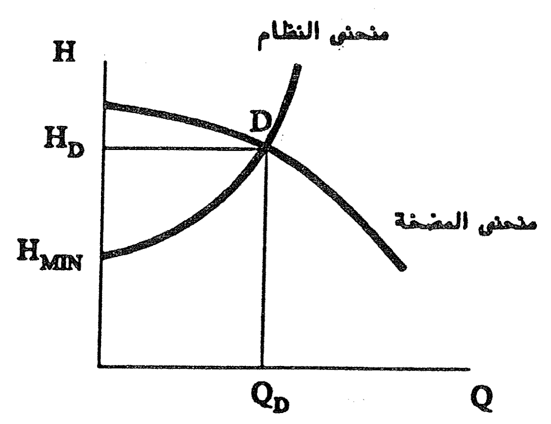
$$\frac{N_{min}}{N_D} = \frac{Q_{min}}{Q_D} \ \& \ \left(\frac{N_{min}}{N_D}\right)^2 = \frac{H_{min}}{H_D} \ \& \ \left(\frac{N_{min}}{N_D}\right)^3 = \frac{HP_{min}}{HP_D}$$



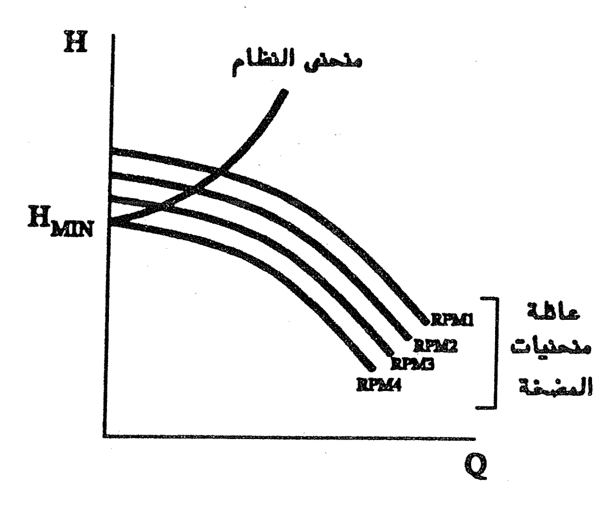
شكل (2 - 13) منحنى المضخة للعلاقة بين H & Q



شكل (3 - 13) منحنى النظام للعلاقة بين H & Q
(العلو الاستاتيكى يساوى الصفر)



شكل (4 - 13) منحنى النظام عند اقل علو استاتيكى يساوى H_{min}



شكل (5 - 13) عائلة منحنيات المضخة عند استخدام مدير السرعة المتغيرة

$$\left(\frac{N_{min}}{N_D}\right)^2 = (\%\ speed)^2_{min} = \frac{H_{min}}{H_D}$$

$$(\%\ speed)_{min} = \sqrt{\frac{H_{min}}{H_D}}$$

$$\therefore\ HP_{min} = HP_D \cdot \left(\sqrt{\frac{H_{min}}{H_D}}\right)^3$$

كذلك نحصل على القدرة الحصانية المطلوبة لعمل المضخة من المعادلة الآتية :

$$HP = \frac{\Delta P\ \ GPM}{1715\ \eta_{pump}}$$

حيث :

ΔP = the differential pressure across a pump in p_{si}

= اختلاف الضغط خلال المضخة بوحدة p_{si}

GPM = the required flow rate in gallons per minute

= معدل السريان المطلوب بوحدة جالون / دقيقة

η_{pump} = pump efficiency

= كفاءة المضخة

ولتحويل الضغط (العلو) من وحدات p_{si} إلى وحدة القدم تطبق المعادلة التالية :

العلو بالقدم = (p_{si} * 2.31 / الوزن النوعي للمائع)

فقد الضغط وسرعة المائع

يحسب فقد الضغط والسرعة لنظم مواسير المياه تبعا للمعادلات الآتية :

$$\Delta P = \frac{0.55\ \ CF^{1.85}}{d^{4.87}}$$

$$V = \frac{0.41\ \ F}{d^2}$$

حيث :

ΔP = pressure loss per 100 feet of pipe, p_{si}

= فقد الضغط لكل 100 قدم من طول الماسورة بوحدة p_{si}

V = velocity of fluid, ft/sec = (ft / sec سرعة المائع (بوحدة

C = roughness factor = 1 for copper tubing

= 1.62 for steel pipe

= 0.77 for plastic pipe

عامل الخشونة = 1 للمواسير النحاس

= 1.62 للمواسير الصلب

= 0.77 للمواسير البلاستيك

F = flow rate in gallons per minute = معدل السريان بوحدة جالون لكل دقيقة

d = inside diameter of pipe, inches = القطر الداخلي للمواسير (البوصة)

بينما يحسب فقد الضغط نتيجة التجهيزات ومعدات التركيبات تبعا للمعادلة التالية:

$$\Delta P = 0.0067\ KV^2$$

حيث:

K = loss coefficient = معامل الفقد

كفاءة المضخة وكفاءة المحرك

يوضح شكل (6 - 13) تمثيل لنظام ضخ يدار بمحرك متغير السرعة

وتمثل الأشكال (7 - 13) & (8 - 13) & (9 - 13) تمثيل للمكونات عند حساب كفاءة المضخة وكفاءة المحرك وكفاءة المضخة والمحرك على التوالي .

ويمكن الاسترشاد بجدول (2 - 13) عند تحديد كفاءة المضخة بدلالة GPM

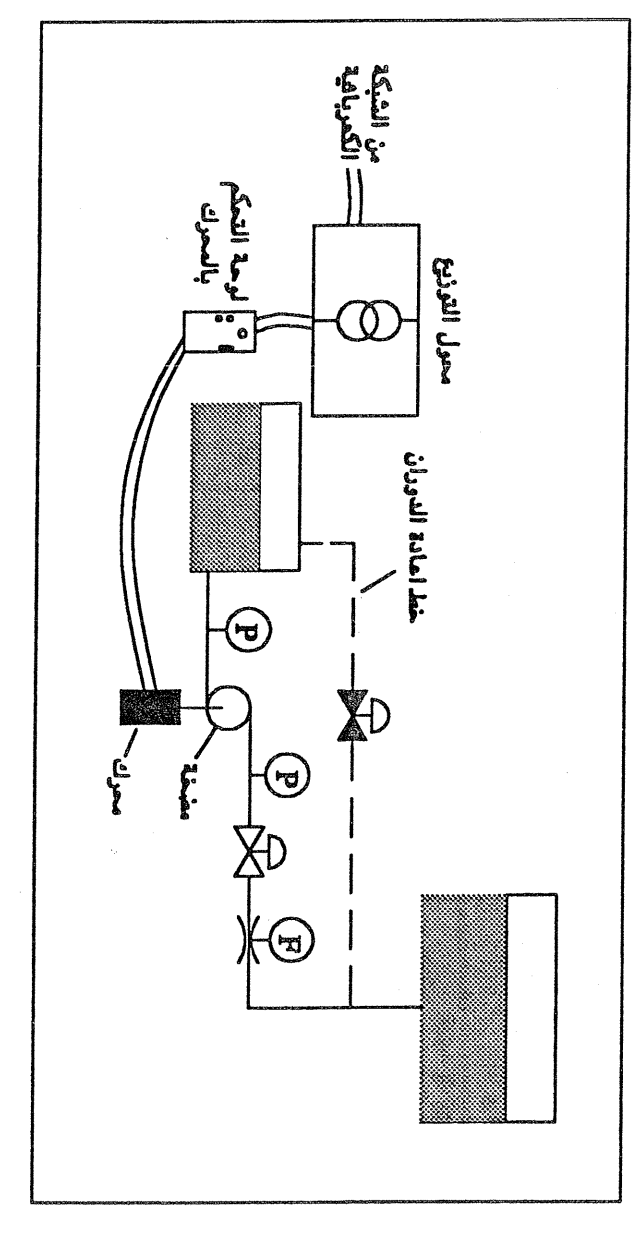
جدول (2 - 13) كفاءة المضخة

GPM	كفاءة المضخة
أقل من 100	70 % : 75 %
من 100 إلى 500	75 % : 80 %
المضخات الكبيرة	85 %

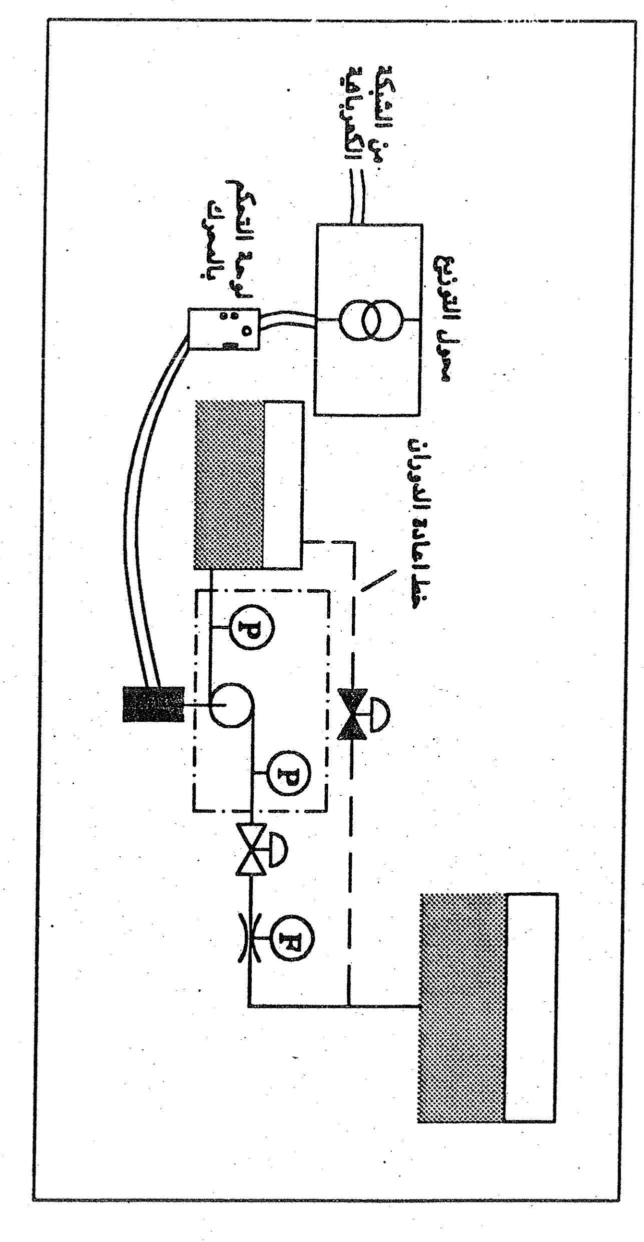
يوضح جدول (3 - 13) تعريفات كفاءة المضخة وكفاءة المحرك وكفاءة النظام (مضخة ومحرك)

جدول (3 - 13) تعريف كفاءة المضخة وكفاءة المحرك وكفاءة النظام

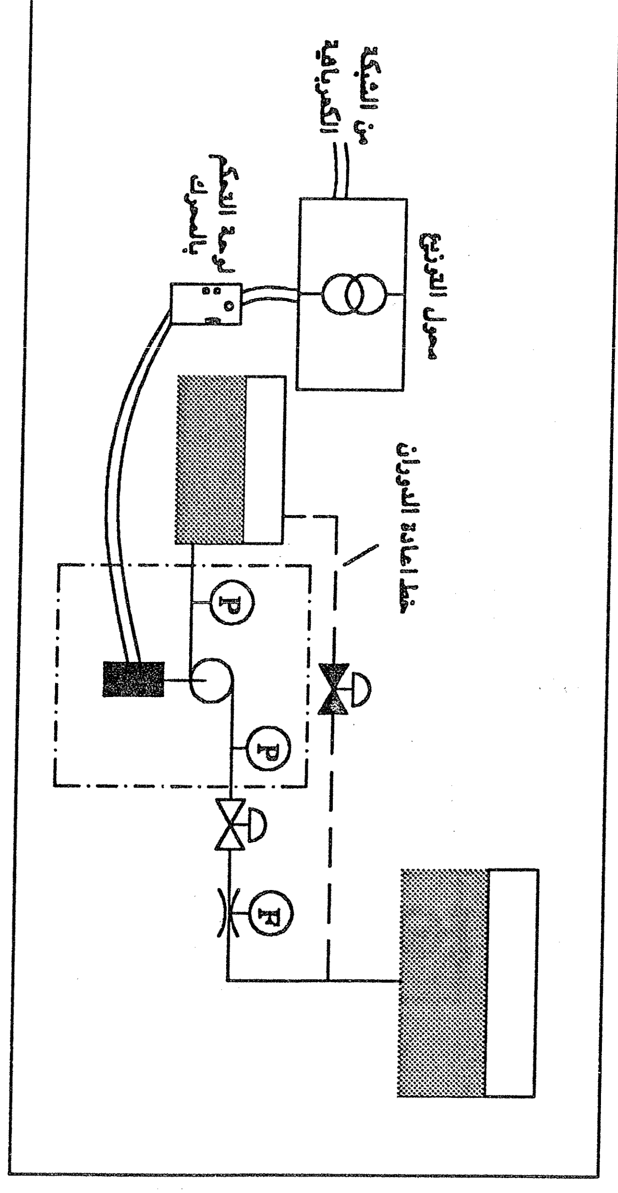
البنـــد	المعـــادلـة	تعـريفـات
كفاءة المضخة (pump efficiency) كما هو موضح في شكل (6 - 13)	$\eta_p = P_f / P_s$ $P_f = QH\gamma$ $P_s = WT$	P_f = useful hydraulic power developed by the pump = القدرة الهيدروليكية المقيدة الناتجة عن المضخة Q = volumetric flow rate = معدل السريان الحجمي H = head = العلـــو γ = fluid specific weight = الوزن النوعي للمائع P_s = shaft input mechanical power = القدرة الميكانيكية لمدخل ذراع الإدارة w = rotational speed = سرعة الدوران T = torque = العـــزم
كفاءة المحرك (Motor efficiency) كما هو موضح في شكل (7 - 13)	$\eta_m = Ps / Pe$ $Pe = \sqrt{3}\ VI \cos\Phi$	P_e = motor electrical input power = قدرة المدخل الكهربائية للمحرك
كفاءة المضخة والمحرك (combined motor and pump efficiency) أو كفاءة النظام من المصدر إلى المياه . (wire– to– water efficiency) كما هو موضح في شكل (8 - 13)	$\eta_{ww} = P_f / P_e$ $= QH\gamma / P_e$	الوحدات $Q = 1\ m^3/s = 3600\ m^3/h = 1000\ l/s$ $H = 10\ m = 9.81 \times 10^4\ Pa = 1\ atm$ Specific gravity = 9.81 m/s^2

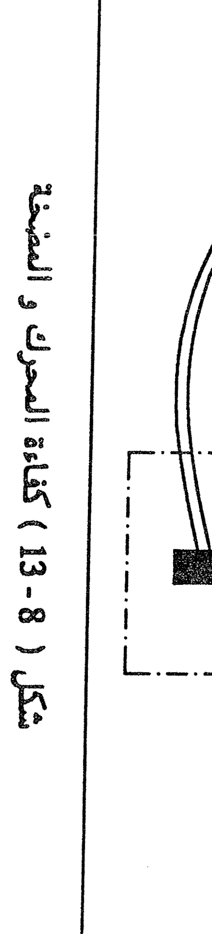



شكل (6-13) نظام ضخ يدار بمحرك

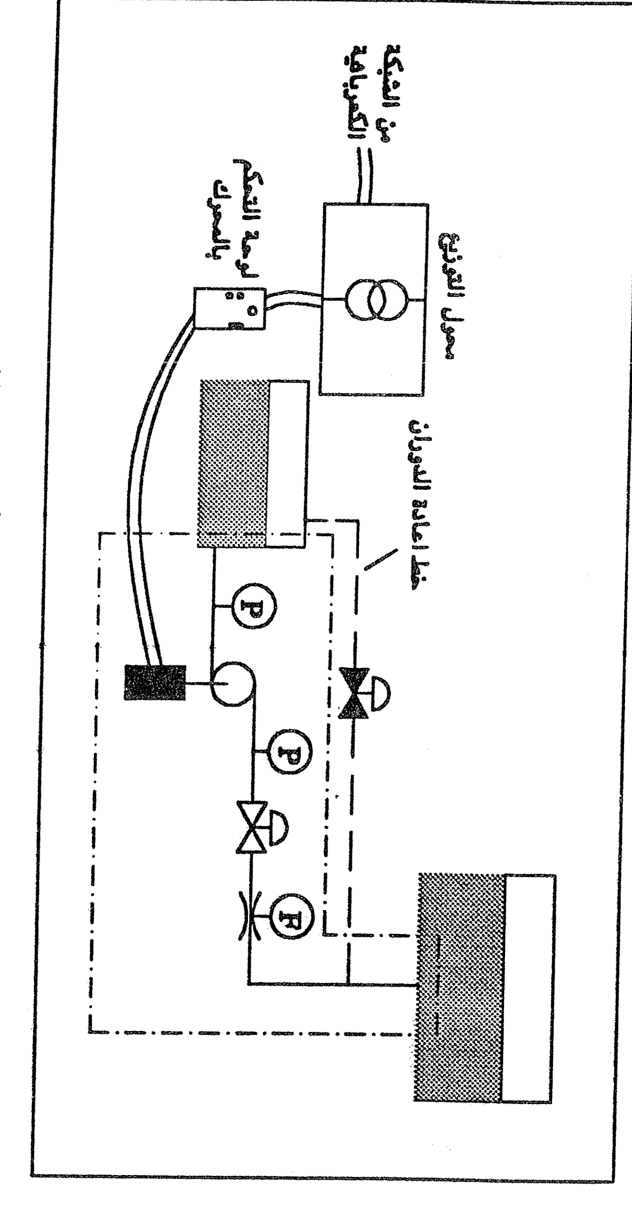


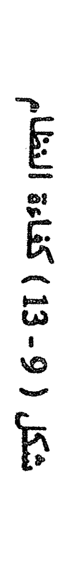
شكل (7- 13) كفاءة المضخة





شكل (8-13) كفاءة المحرك و المضخة





شكل (9-13) كفاءة النظام

طرق التحكم في السريان Flow Control Methods

يمكن التحكم في السريان (Q) عن طريق

1- التحكم بالخنق (Throttle control)

عن طريق صمام يمكن التحكم في كمية سريان المائــع بتغير اتســاع فتحة الانسياب وينتج عن ذلك تباين في الضغط بين جانبي الضغط و ذلك موضح بشكل (10 – 13)

2- التحكم بالممر التجنيبي (Bypass control)

عن طريق صمام أو منظم خانق في الممر التجنيبي يمكن التحكم في كمية سريان المائع ويكون الغرض تحويل مسار المائع إلى الممر الجانبي والموضح بشكل (11 - 13)

3- التحكم بالفصل والتوصيل (ON – off control)

يركب مفتاح تشغيل للتحكم في تشغيل أو فصل المحرك يدويا والموضح بشكل (12- 13)

4- التحكم بمدير السرعة المتغيرة (Variable speed control)

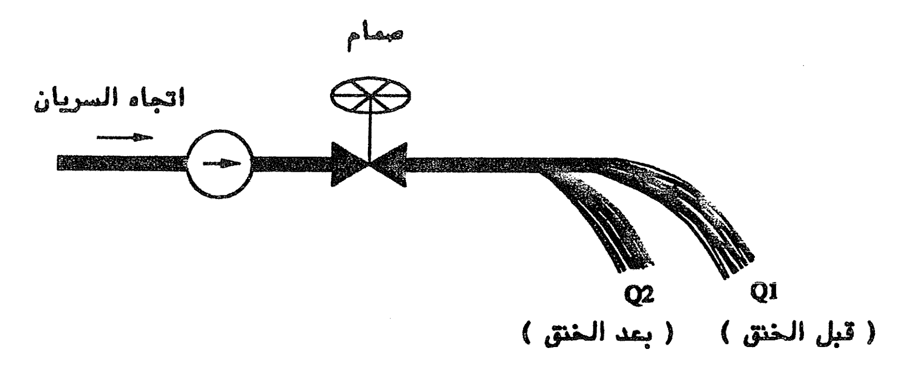
يستخدم محرك بمدير سرعة متغيرة مع المضخة وذلك إذا كان مخرج المضخة متغيرا والموضح بشكل (13 - 13)

5- استخدام مضختان على التوازي Parallel running of pumps

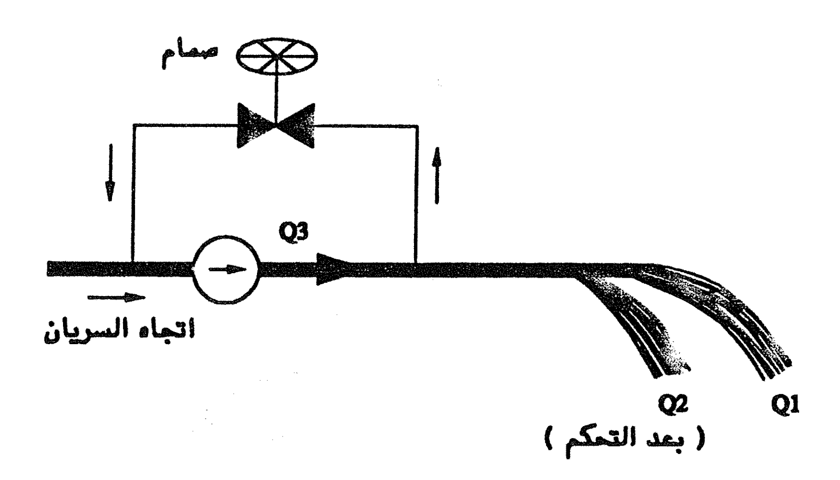
والموضح بشكل (14 - 13)

للحصول على تدفق أكبر فإن

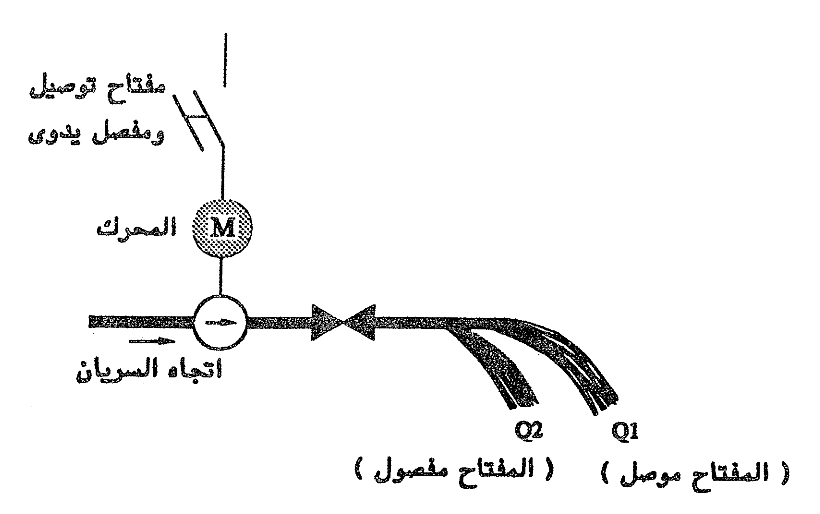
$$Q_t = Q_1 + Q_2$$
$$H = H_1 = H_2$$



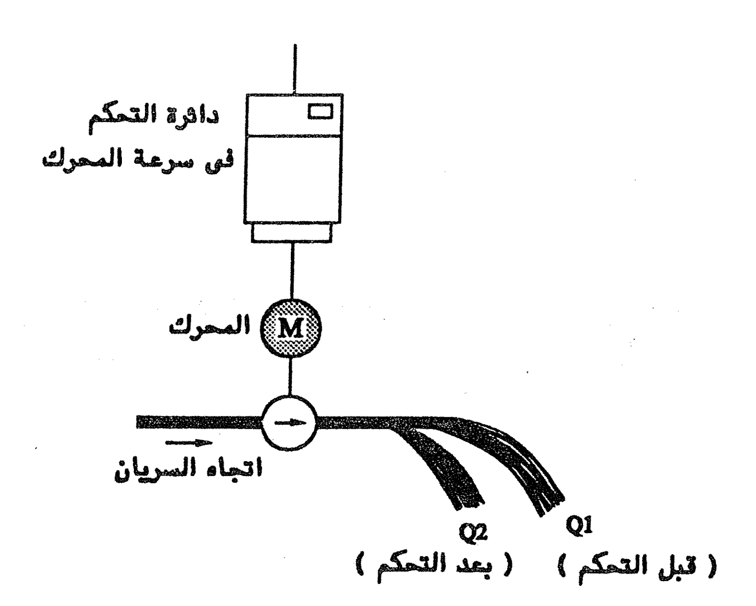
شكل (10 - 13) التحكم بالخنق



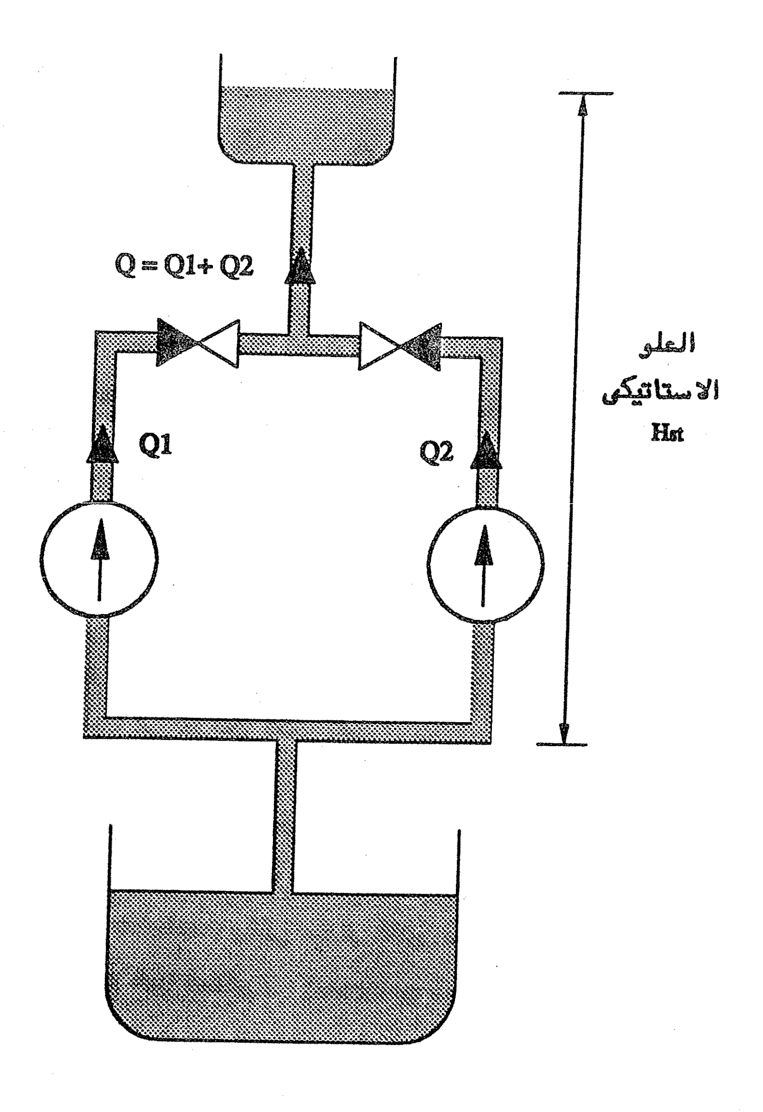
شكل (11 - 13) التحكم عن طريق المسار الجانبى



شكل (12 - 13) التحكم بفصل وتوصيل المفتاح يدويا



شكل (13 - 13) التحكم عن طريق مدير السرعة المتغير



شكل (14 - 13) مضختان على التوازى

6- استخدام مضختان على التوالي Series running of pumps

والموضح بشكل (15 - 13)

للحصول على ارتفاع أعلى فأن $H_t = H_1 + H_2$

$Q = Q_1 = Q_2$

يبين جدول (4 - 13) أمثلة للمقارنة بين القدرة المستهلكة وحسابات نسبة الوفر لطرق التحكم في السريان بالمضخة .

أي نحصل على كمية السعة بالحصان الموفرة من المضخة عن طريق تغيير كمية علو الاحتكاك (Friction head) الحادث نتيجة تغير معدلات السريان . يحدث أقصى فقد احتكاك عند أعلى سريان بالمقارنة بالسريان المنخفض والذي يقابله أعلى وفر متاح بالحصان . ويكون أفضل الأوضاع هو الذي له ضغط منخفض .

وعلى ذلك، يتم أولا اختيار مضخة ذي سعة أقل . واستخدام المضخة الأصغر تنتج أفضل وفر وبالتالي أقل تكلفة .

من الملاحظات التي يجب الانتباه لها :

أ- في حالة الحاجة الى سريان عالي ثابت

(Constant high flow requirements)

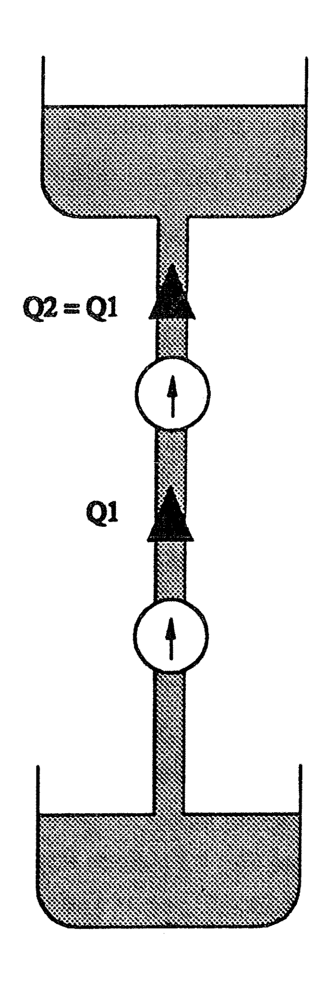
في حالة عدم وجود تغيير في السريان وأن المضخة تعمل بصفة مستمرة ، فيجب التفكير أولا في تغيير المضخة بأخرى ذي سعة مناسبة ، أو استخدام مديرات السرعة المتغيرة (variable speed drive) VSD والتي ستوفر الكثير من المال .

ب- نظم تحويل المائع غير المتغير (Non-variable fluid transfer systems)

في كثير من تطبيقات المضخات للعمليات ، يكون المطلوب تحريك كمية من المائع من مكان إلى آخر بأسرع ما يمكن . يحدد مقاس المضخة والمحرك أثناء التكلفة الاقتصادية الأولية . إذا كان المطلوب مثلا شراء مضخة 100 حصان وتخفيض زمن التحويل (transfer time) إلى % 50 وهذا ممكن ، عندئذ لا يوجد فرص لترشيد استخدام الطاقة لأن العمليات تحتاج إلى دفعة صغيرة للاستهلاك حتى تقف المضخة .

ج- مضخات الإزاحة الموجبة (Positive displacement pumps)

لا يمثل استخدام مديرات السرعة المتغيرة (VSD) مع مضخات الإزاحة الموجبة أية مشكلة . والذي يجب معرفته فقط أن المضخة في هذه الحالة لا تخضع لقانون المضخات



شكل (15 - 13) مضختان على التوالى

فمن المعروف أن أحمال الطرد المركزي (centrifugal loads) هي التي تخضع لقانون المضخات ، حيث أن خصائصها تحتاج إلى عزم متغير مع سريان متغير
بينما تحتاج أحمال الإزاحة الموجبة (positive displacement loads) إلى عزم ثابت خلال المدى الكلي للسريان . وتكون العلاقة بين القدرة (الحصانية) والسرعة عبارة عن خط مستقيم في أسوء العلاقات أو في حالة قانون التربيع (square law) .
كل من الطريقتين توفر الطاقة ، ولكن حسابات الوفر تكون أقل في حالة أحمال الطرد المركزي والتي تتبع العلاقة التكعيبية (cubed) .
من أمثلة أحمال الإزاحة الموجبة :

- مضخة كباسية (piston type pump)
  والتي تستخدم للموائع عالية الزوجة (viscous)
- هوايات ميكانيكية (mechanical aerators)
  (أو عجلات تجديف paddle wheels) ، والتي تستخدم لمزج الهواء بالبحيرات الساحلية.

حساب القدرة (الحصانية) عند أي سريان

تتبع الخطوات التالية لحساب القدرة عند أي سريان

(1) Horsepower = $(GPM * TDH) / (3960 * \eta_{pump})$

(2) TDH = Total Dynamic Head = العلو الديناميكي الكلي
= Static Head (ft) + Friction Head (ft)
= علو الاحتكاك (القدم) + العلو الاستاتيكي (القدم)

(3) Friction Head (ft) = $(0.001246 * GPM^2 * L) / D^5$

حيث :

GPM = PPH / 500

GPM = $15 D^2$ = mass flow rate = معدل السريان الكتلي

D = pipe diameter, inches = قطر الماسورة (بوصة)

{ (15 = avg. متوسط) & (10= conservative معتدل) &
(20 = borderline على الحد) }

L = equivalent lineal feet of pipe = الطول الخطي المكافئ للماسورة (قدم)

PPH = pounds per hour = باوند في الساعة (للمياه أو السائل أو البخار)

η_{pump} = pump efficiency = كفاءة المضخة

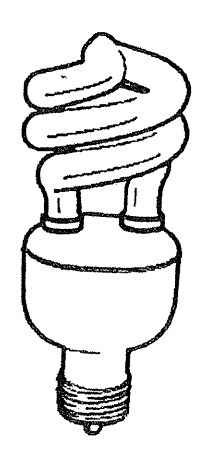
ملحوظة :

(1) الثابت (0.001246) هو عامل للمواسير الحديد الأسود أو المجلفن . أما في حالة المواسير النحاس أو النحاس الأصفر أو البلاستيك فإن هذا الثابت يصبح (0.000623) .

يوضح جدول (4 – 13) أمثلة للمقارنة بين القدرة المستهلكة لطرق التحكم في السريان للمضخة و حسابات نسبة الوفر

ولتوفير الطاقة للمضخات يراعى الآتي :

- نظف الإطار الداخلي للمضخة دوريا
- أفحص الدفاعة المروحية (لتوليد الضغط في المضخة) من حيث الانهيار أو البلي
- أفحص صناديق الحشوة وأعيد ملئها إذا لزم الأمر
- أفحص مديرات السرعة
- أفحص صمامات عدم الراجع ، صمامات المسار الجانبي للضغط لتحسين وتفعيل التشغيل



18 watt
=
75 Watt

فرص تخفيض القدرة الحصانية للمضخة

من بعض فرص تخفيض القدرة الحصانية للمضخة .

1- في كثير من الاحيان تستخدم مضخات ذات مقاسات أكبر من الاحتياج في حالة وجود مضخة بقدرة أكبر من المطلوب ، يجب استبدالها بأخرى أصغر بحيث تتماشى مع الحمل .

2- في بعض الأحيان يمكن تخفيض معدلات سريان التدفئة أو التبريد، للحصول على وفر في قدرة (حصان) المضخة ، اما لتخفيض سرعة المحرك أو تغيير مقاس حز بكرة المحرك (motor sheave) .

3- يجب التأكد من اقتصاديات تبديل المواسير المتآكلة (corroded pipe) بمواسير ذات أقطار كبيرة وذلك لتقليل مفقودات الاحتكاك (friction losses) .

4- يجب استخدام مضخات ذات سرعات متغيرة لتتماشى مع حالة الأحمال . يمكن تغيير سرعة مديرات السرعة المتغيرة للمحركات الحصول على معدل السريان أو الارتفاع المطلوبين .

5- يمكن إضافة مضخة صغيرة مساعدة (auxiliary pump) بحيث تستخدم في حالة الاحتياج لجزء من الحمل وعندئذ تفصل المضخة الكبيرة .

جدول (4-13) أمثلة للمقارنة بين القدرة المستهلكة لطرق التحكم في السريان للمضخة وحسابات نسبة الوفر

الوصف	التحكم بالخنق	التحكم عن طريق المسار الجانبي	التحكم بالفصل والتوصيل	التحكم بمدير السرعة المتغيرة
الحالة قبل التحكم	Q = 10 l/s H = 10 m P α (10x10) α 100 kw	Q = 10 l/s H = 10 m P α (10x10) α 100 kw	Q = 10 l/s H = 10 m P α (10x10) α 100 kw تدور المضخة 70% من الزمن	Q = 10 l/s H = 10 m P α (10x10) α 100 kw
الحالة بعد التحكم	Q = 7 l/s H = 12.7 m P α (7x12.7) α 89 kw	Q = 12.4 l/s H = 6.5 m P α (12.4x6.5) α 82 kw	تقف المضخة 30% من الزمن P α (0.7x100)+(0.3x0) α 70 kw	Q = 7 l/s H = 6.4 m P α (7x6.4)α 45 kw
نسبة الوفر	وفرالقدرة =(100 – 89)/100 =11 %	وفر القدرة = (100– 82)/100 =18 %	وفر الطاقة = (100– 70)/100 =30 %	وفر الطاقة = (100– 45)/100 =55 %



تمثيل نقطة الاستفهام بالكره الارضية يشير الى
الاحتياج للاجابه على اسئلة

الباب الرابع عشر

المراوح

وفرص ترشيد استخدام الطاقة

Fans and Potential of Energy Saving

مقدمة

تعامل المراوح معاملة مماثلة للمضخات ، لان اغلب المراوح تشبه مضخات الطرد المركزي من حيث ضخ الهواء . وعلى ذلك فإنها تخضع لقانون الائتلاف(affinity law) ويكون الاختلاف بينها أن اغلب أنظمة المراوح ليس لها اقل علو استاتيكى (minimum static head) . في اغلب المباني تكون أنظمة المراوح الطاردة للغازات (المراوح الماصة) (exhaust fan systems) ذات سعات كبيرة وتعمل اغلب الوقت ، وهى مصممة لتغطى اغلب الأماكن والحيز المشغول وتعمل بصفة مستمرة لمدة 24 ساعة يوميا .

ولقد أتاح استخدام مديرات السرعة المتغيرة VSD(variable speed drives) التوفيق بين كميات الغازات والغازات المطلوبة بدون إجراء تعديلات كبيرة فمثلا، يمكن تخفيض الغازات عن طريق دورة التشغيل بدون التوقف الكامل للمروحة . هذا يعنى ان تكون دورة تشغيل دوران المروحة عند % 50 من السرعة ،

أي 50% سريان ، وذلك لمدة 5 دقائق كل 15 دقيقة، هذا سيخفض القدرة (الحصانية) كل ساعة الى 71% . وتنخفض كمية هواء الطرد 17% وعليه ينخفض الحمل لنظام تدفئة وتهوية وتكييف الهواء HVAC

يتم التحكم فى سريان هواء مراوح السحب المدفوع والمستحث (induced forced draft fans) والمستخدمة للغلايات الكبيرة ، والأفران الدوارة ، وافران العمليات ...... من خلال ريش توجيه (vanes) أو منظمات خانق [1] (dampers) ..

---

(1) منظم خانق : ترتيبه تستخدم فى تنظيم مقدار الهواء المناسب فى ملف تبريد بالهواء او فى سلك هواء يشتمل على عدة الواح.أو رقائق قابلة للتحريك ومتصل بعضها مع بعض

حيث يتحكم في كمية هواء الاحتراق لتنظيم معدل الحرق بالمعدات . عند استخدام ريش توجيه بالمدخل أو منظمات خانقة للتصريف فان الوفر يكون ملحوظا وخاصة إذا كان التحكم يتم من خلال مديرات السرعة المتغيرة (VSD) في حالات متعددة . وخاصة المعدات كبيرة الحجم فان ضغط التصريف (discharge pressure) يكون عالي نسبيا نتيجة مفقودات الضغط الاستاتيكى الكبير خلال كل من غرفة الاحتراق ، والمبادل الحراري ،..... هذا يؤدى إلى تحديد مدى أقل سرعة لازمة للتغلب على هذا الضغط المطلوب.

من الأشياء التي يجب ملاحظتها :

1- مراوح نظم تجميع الأتربة (Dust collection system fans)

تحتاج هذه النظم الى أقل معدل سريان للهواء cfm (cubic feet / minute) للحفاظ على سرعة التحميل خلال مواسير النظام . تحتاج المواسير الطويلة وأحجام السريان العالية إلى ضغط استاتيكى عالي نسبيا . غالبا لا تكون مراوح الضغط الاستاتيكى العالي من المراوح ذي الطرد المركزي . ينتج عن بعض سرعات المراوح تكبير الاهتزازات الرنينية (يمكن التغلب على ذلك باختيار مديرات السرعة المتغيرة VSD)

2- مراوح غازات تصريف الدخان (Fume Hood exhaust fans)

عموما ، توجد اهتزازت بسيطة في المراوح الأحادية ونظم التصريف . تظهر الاهتزازات في حالة وجود العديد من تصريفات الدخان مع مروحة أحادية .. هذه النظم مؤذية بالصحة وعند التوصية بتغير هذا النظام أو إعادة تصميمه عندئذ يجب التفكير في نظم كفاءة الطاقة .

فرص ترشيد استخدام الطاقة

في نظم المراوح إذا لم تتغير السرعة لتشغيل النظام ، عندئذ لا يوجد اى فرص لوفر القدرة (الحصانية)

القدرة الحصانية للمروحة

تستخدم المعادلة التالية لحساب القدرة الحصانية للمروحة

$$\text{Brake horsepower} = \frac{\text{CFM} * \text{FanPS}}{6356 * \eta_F}$$

حيث :

C FM = quality of air in CFM

= كمية الهواء (بوحدة قدم مكعب في الدقيقة)

η_F = fan static efficiency

= الكفاءة الاستاتيكية للمروحة

Fan PS = fan static pressure in inches

= الضغط الاستاتيكى للمروحة (بوحدة البوصة)

ولحساب الضغط الاستاتيكى للمروحة تستخدم المعادلة التالية

$$\text{Fan PS} = P_T(o) - P_T(i) - P_V(o)$$

حيث:

$P_T(o)$ = total pressure at fan outlet

= الضغط الكلى عند مخرج المروحة

$P_T(i)$ = total pressure at fan inlet

= الضغط الكلى عند مدخل المروحة

$P_V(o)$ = velocity pressures at fan outlet

= ضغط السرعة عند مخرج المروحة

يعرف ضغط السرعة بأنه الضغط الزائد عن الضغط الاستاتيكى ويحسب تبعا للمعادلة التالية للهواء القياس ذي القيمة ($13.33\ F^3 / Ib$)

$$P_V = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$$

حيث :

V = velocity of air in FPM

= سرعة الهواء (بوحدة قدم / الدقيقة)

قوانين المروحة

1- قانون المروحة عند تغير سرعة المروحة وثبات كثافة الهواء وثبات النظام

- يتغير حجم الهواء (قدم مكعب / الدقيقة) مع تغير سرعة المروحة
- تتغير السرعة الاستاتيكية أو الضغط الكلى مع مربع سرعة المروحة
- تتغير القدرة مع مكعب سرعة المروحة

2- قانون المروحة عند تغير كثافة الهواء وثبات سرعة المروحة وثبات النظام

- ثبات حجم الهواء
- تتغير السرعة الاستاتيكية أو الضغط مع كثافة الهواء
- تتغير القدرة مع كثافة الهواء

مثال (1)

عند إجراء مسح للطاقة وجد أنة يلزم تخفيض السرعة من 15000 CFM إلى 12000 CFM للوصول الى التهوية المطلوبة .

احسب الوفر في القدرة الحصانية ؟

الحل :

من قوانين المروحة

$$\frac{HP_1}{HP_2} = \left\{\frac{CFM_{new}}{CFM_{old}}\right\}^3$$

$$HP_1 = HP_2\left\{\frac{12000}{15000}\right\}^3 = (0.512)HP_2$$

أي أن الوفر 48.8%

ملحوظة :

يتأثر أداء المروحة بكثافة الهواء. جميع المراوح تقنن عند الهواء القياسي والذي يعـــرف بأن كثافته $0.075\ Ib / ft^3$ والحجم النوعى $13.33\ F^3 / Ib$ عند اختبار المروحة في ظروف مختلفة عن الهواء القياسي فيجب تصحيح القدرة الحصانية تبعا لقوانين المروحة .

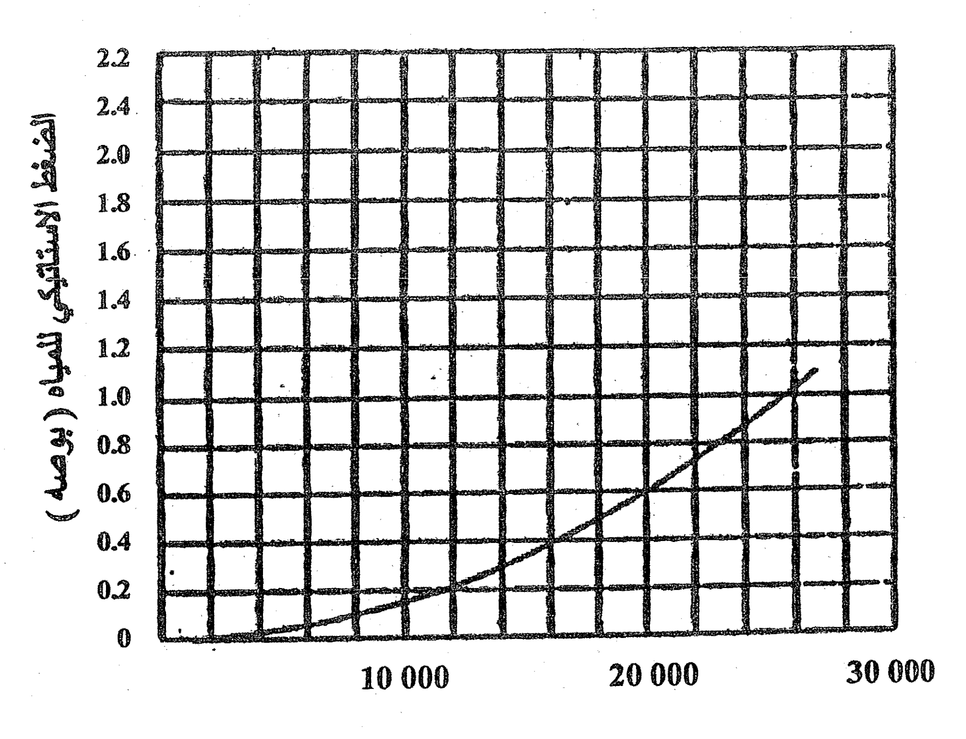
منحنيات أداء المراوح Fan Performance Curves

لكل مروحة منحنى أداء يوضح العلاقة بين كمية الهواء (quantity of air) التى نحصل عليها من المروحة ، وبين الضغط (Pressure).

من المعروف أن تخفيض القدرة الحصانية للمروحة يتم إما بتخفيض ســرعة المروحــة أو بخنق تدفق الهواء باستخدام منظم خانق (damper) ويستعان بمنحنـــى أداء المروحـــة لاختيار الفرصة الأفضل. والذي نحصل منه على الضغط الاستاتيكى المطلوب للتغلب علـــى فقد الاحتكاك (friction loss) في نظم المواسير.

وطبقا لقوانين المروحة ، يتغير فقد احتكاك النظام مع مربع سرعة المروحة ، وبزيادة كمية الهواء يتغير فقد الاحتكاك والشكل (14-1) يوضح هذا التغير .

كما يوضح جدول (14-1) بعض دراسات الحالة للوفر الناتج من استخدام مديرات الســـرعة المتغيرة لتدوير المراوح .



شكل (1-14) منحنى خصائص فقد الاحتكاك

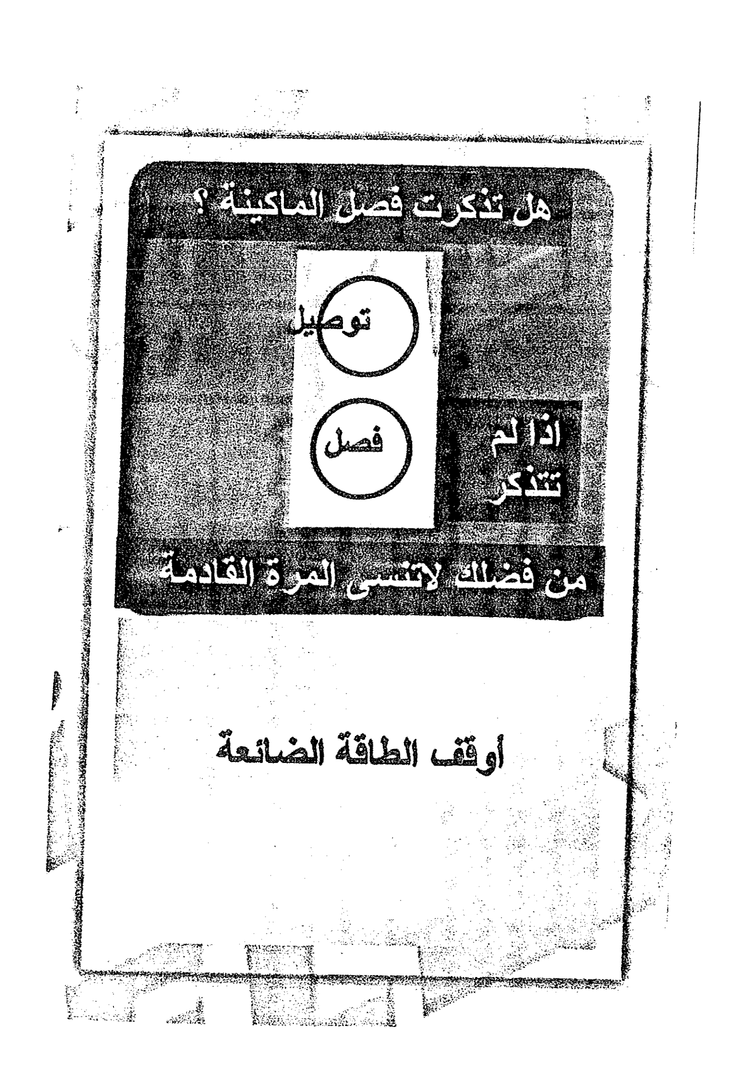
جدول (14-1) بعض دراسات الحالة للوفر الناتج من استخدام مديرات السرعة المتغيرة المصدر: (aee Energy Engineering –vol. 98, No.3 2001)

الوصف	القدرة المتوقعة قبل تطبيق مشروع التأهيل kW	القدرة المقاسة قبل تطبيق مشروع التأهيل KW	عدد الساعات المتوقعة (hr)	عدد الساعات المقاسة (hr)	وفر الطاقة المتوقع kWh	وفر الطاقة المقاس Kwh	نسبة وفر الطاقة المقاسة %
دراسة حالة (1) مدير سرعة 10 HP لمروحة ترجيع بوحدة مناولة الهواء (air handing unit) تحتوى على مسار جانبي يدوي. يتم التحكم فى سرعة المروحة عن طريق الضغط الأستاتيكى بالمواسير (من صفر إلى 5 بوصة مياه) خلال فترة التشغيل المنخفضة, تحد سرعة التشغيل الى 50%.ويجهز بتهوية وتحريك الهواء.أحدث ذلك وفرا 55% وانخفض مستوى التشويش .	6.5	7.3	8590	8630	28800	34100	55
دراسة حالة (2) مدير سرعة 50HP لمروحة تغذية بوحدة مناولة لهواء و تحتوى على مسار جانبي يدوى . تستخدم وحدة مناولة الهواء لتكريف مبنى ...... يتم التحكم فى سرعة المروحة عن طريق الضغط الاستاتيكى بالمواسير (من صفر الى 5 بوصة مياه) خلال فترة التشغيل المنخفضة, تحد سرعة التشغيل إلى 50% و يجهز بتهوية و تحريك الهواء . حسبت ساعات التشغيل المتوقعة بحوالي 6590 ساعة كساعات صيانة , و هي أقل من ساعات التشغيل الفعلية 8590 ساعة. و في أي حالة يعمل مدير السرعة على تقليل استهلاك الكهرباء بحوالي 34% بالإضافة الى أن تخفيض سرعة المروحة يساهم في فوائد إضافية من حيث تخفيض الصيانة و تحسين مستوى الإضاءة. .	30.5	26.7	8590	6590	61000	59000	34

° استهلاك الطاقة قبل التأهيل = القدرة المقاسة kW ° عدد ساعات التشغيل المقاسة (hr)

° استهلاك الطاقة بعد التأهيل = قراءة عداد الطاقة(kwh) التراكمية

°وفر الطاقـــة = الطاقة قبل التأهيل – الطاقـــة بعد التأهيل


هل تذكرت فصل الماكينة ؟
توصيل
فصل
اذا لم تتذكر
من فضلك لاتنسى المرة القادمة
أوقف الطاقة الضائعة

ملحق A
الجداول التوضيحية

- جدول (A-1) خصائص الحرارة الديناميكية للبخار المشبع (Thermo – Table)
- جدول (A-2) كثافة الهواء
- جدول (A-3) عاملات الأمان النموذجية لمصايد البخار
- جدول (A-4) الفقد الحراري السنوي لكل مصيدة نتيجة تسريب البخار
- جدول (A-5) معدل تسريب البخار خلال الثقوب
- جدول (A-6) فقد المائع خلال الثقوب الصغيرة
- جدول (A-7) الفقد الحراري وفقد البخار عند تسرب بخار عند ضغط بخار 600 Psig
- جدول (A-8) فقد البخار عند 100 Psi بفرض أن كفاءة الغلاية 80% تبعا لمقاس فتحة المصيدة
- جدول (A-9) معاملات انتقال الحرارة لمواسير صلب غير معزولة
- جدول (A-10) معاملات انتقال الحرارة للمواسير المعزولة
- جدول (A-11) عاملات تحويل المواد العازلة
- جدول (A-12) الفقد الحراري للمواسير المعزولة
- جدول (A-13) الفقد الحراري من المواسير المكشوفة (غير المعزولة)
- جدول (A-14) المقاسات الاسمية للمواسير ونصف القطر الخارجي المستخدم بنظم البخار
- جدول (A-15) أقل سمك لعزل المواسير تبعا للاستخدام
- جدول (A-16) الفقد الحراري من الأسطح المستوية
- جدول (A-17) الفقد الحراري من الأسطح المكشوفة
- جدول (A-18) معدل بخر المياه
- جدول (A-19) جدول بيانات الهواء

جدول (1-A) خصائص الحرارة الديناميكية للبخار المشبع (Thermo -Table)

الضغط القياسي Gauge Pressure (Psig)	الضغط المطلق Absolute Pressure (Psia)	درجة حرارة البخار Steam temp. (°F)	الانثالبي للسائل المشبع Enthalpy of Sat. liquid (Btu/lb)	الحرارة الكامنة Latent Heat (Btu/lb)	الانثالبي للبخار Enthalpy of Steam (Btu/lb)	الحجم النوعي Specific Volume (ft^3/lb) $(density)^{-1}$
---------	-------	-------	In a Vacuum	-------	-------	-------
29.74	0.0885	32	0.00	1075.8	1075.8	3306.00
29.52	0.2	53.14	21.21	1063.8	1085.0	1526.00
27.89	1.0	101.74	69.70	1036.3	1106.0	333.60
19.74	5.0	162.24	130.13	1001.0	1131.1	73.52
9.56	10.0	193.21	161.17	982.1	1143.3	38.42
7.54	11.0	197.75	165.73	979.3	1145.0	35.14
5.49	12.0	201.96	169.96	976.6	1146.6	32.40
3.45	13.0	205.88	173.91	974.2	1148.1	30.06
1.42	14.0	209.56	177.61	971.9	1149.5	28.04
---- Psig ----	-------	-------	--------	-------	-------	--------
0.0	14.696	212.00	180.07	970.3	1150.4	26.80
1.3	16.0	216.32	184.42	967.6	1152.0	24.75
2.3	17.0	219.44	187.56	965.5	1153.1	23.39
5.3	20.0	227.96	196.16	960.1	1156.3	20.09
10.3	25.0	240.07	208.42	952.1	1160.6	16.30
15.3	30.0	250.33	218.82	945.3	1164.1	13.75
20.3	35.0	259.28	227.91	939.2	1167.1	11.90
25.3	40.0	267.25	236.03	933.7	1169.7	10.50
30.3	45.0	274.44	243.36	928.6	1172.0	9.40
40.3	55.0	287.07	256.30	919.6	1175.9	7.79
50.3	65.0	297.97	267.50	911.6	1179.1	6.66
60.3	75.0	307.60	277.43	904.5	1181.9	5.82
70.3	85.0	316.25	286.39	897.8	1184.2	5.17
80.3	95.0	324.12	294.56	891.7	1186.2	4.65
90.3	105.0	331.36	302.10	886.0	1188.1	4.23
100.0	114.7	337.90	308.80	880.0	1188.8	3.88
110.3	125.0	344.33	315.68	875.4	1191.1	3.59
120.3	135.0	350.21	321.85	870.6	1192.4	3.33
125.3	140.0	353.02	324.82	868.2	1193.0	3.22
130.3	145.0	355.76	327.70	865.8	1193.5	3.11
140.3	155.0	360.50	333.24	861.3	1194.6	2.92
150.3	165.0	365.99	338.53	857.1	1195.6	2.75
160.3	175.0	370.75	343.57	852.8	1196.5	2.60
180.3	195.0	379.67	353.10	844.9	1198.0	2.34
200.3	215.0	387.89	361.91	837.4	1199.3	2.13
225.3	240.0	397.37	372.12	828.5	1200.6	1.92
250.3	265.0	406.11	381.60	820.1	1201.7	174
-	300.0	417.33	393.84	809. 0	1202.8	1.54
-	400.0	444.59	424.00	780.5	1204.5	1.16
-	450.0	456.28	437.20	767.4	1204.6	1.03
-	500.0	467.01	449.40	755. 0	1204.4	0.93
-	600.0	486.21	471.60	731.6	1203.2	0.77
-	900.0	531.98	526.60	668.8	1195.4	0.50
-	1200.0	567.22	571.70	611.7	1183.4	0.36
-	1500.0	596.23	611.60	556.3	1167.9	0.28
-	1700.0	613.15	636.3	519.6	1155.9	0.24
-	2000.0	635.82	671.70	463.4	1135.1	0.19
-	2500.0	668.13	730.60	360.5	1091.1	0.13

Source : Energy Management Handbook W.C Turner .

جدول (2-A) كثافة الهواء

كثافة الهواء عند Density of Air at ATM[1]	
Temperature °F	Ib / ft^3(weight density)
-40	0.0914
32	0.0780
122	0.0659
212	0.0572
302	0.0504
392	0.0451
482	0.0407
572	0.0373
752	0.0317
932	0.0277

Ref: Fluid Mechanics, Frank M. White, Mcgraw Hill,1979

(1) وحدة ضغط تعادل ضغط الهواء عند سطح البحر أو 14.69 Ib. in ^{2}



جدول (3-A) عاملات الأمان النموذجية لمصايد البخار

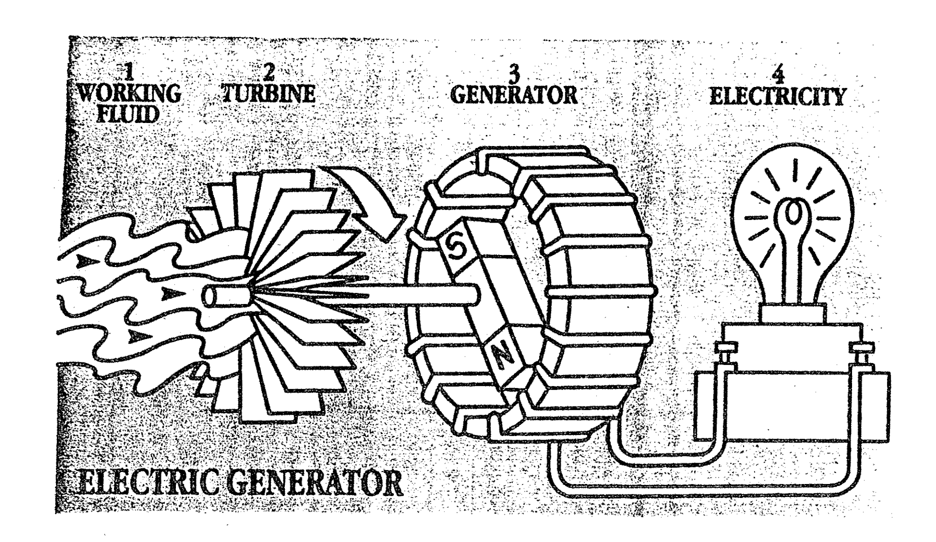
(على أساس سريان المتكاثف)

تطبيقات Application		عامل الأمان Factor of Safety
التعقيم بواسطة البخار المحمص	(Autoclaves)	3-4
ملفات تيار الهواء (الصهر المعادن)	(Blast coils)	3-4
يعلب بالتجفيف	(Dry cans)	2-3
مجففات	(Dryers)	3-4
قمائن تجفيف	(Dry kilns)	3-4
التدفئة بنظام المراوح	(Fan system heating service)	3-4
ملفات الدفيئة	(Greenhouse coils)	3-4
معدات المستشفيات	(Hospital equipment)	2-3
سخانات المياه	(Hot – water heaters)	4-6
معدات المطابخ	(Kitchen equipment)	2-3
ماكينات الورق	(Paper machines)	3-4
مواسير ملف	(Pipe coils (in still air))	3-4
عمليات الطلاء	(Platen presses)	2-3
مطهرات	(Purifiers)	3-4
فرازات	(Separators)	3-4
حله بخار	(Steam jacketed kettles)	4-5
تغذية بالبخار	(Steam mains)	3-4
الأسطح المغمورة	(Submerged surfaces)	5-6
خطوط الذخيرة	(Tracer lines)	2-3
سخانات	(Unit heaters)	3-4

جدول (4-A) الفقد الحراري السنوي لكل مصيدة نتيجة تسريب البخار

مقاس الثقب Hole Size (in)	ضغط البخار (Steam Pressure) 20 Psig	50 Psig	100 Psig	200 Psig	400 Psig
	Annual Heat Loss		الفقد الحراري السنوي (MMBtu / yr)		
0.05	20	25	100	150	375
0.10	100	200	500	800	1500
0.25	250	1000	2025	4000	>4000
0.50	1600	3250	4000	>4000	>4000

Source:U.S. Department of commerce, Energy Conservation Program Guide for Industry and Commerce, NBS handbook 115 (Washington D.C. : Government Printing Office, 1974),



جدول (A-5) معدل تسريب البخار خلال الثقوب

قطر الثقب(بوصة) Orifice Diameter (inches)	Steam pressure (PSIG)ضغط البخار												
	2	5	10	15	25	50	75	100	125	150	200	250	300
1/32	0.31	0.49	0.70	0.85	1.14	1.86	2.58	3.3	4.02	4.74	6.17	7.61	4.05
1/16	1.25	1.97	2.8	3.4	4.6	7.4	10.3	13.2	16.1	18.9	24.7	30.4	36.2
3/32	2.81	4.44	6.3	7.7	10.3	16.7	15.4	29.7	36.2	42.6	55.6	68.5	81.5
1/8	4.5	7.9	11.2	13.7	18.3	29.8	41.3	52.8	64.3	75.8	99.0	122.0	145.2
5/32	7.8	12.3	17.4	21.3	28.5	46.5	64.5	82.5	100.0	118.0	154.0	190.0	226.0
3/16	11.2	17.7	25.1	30.7	41.1	67.0	93.0	119.0	145.0	170.0	222.0	274.0	326.0
7/32	15.3	24.2	34.2	41.9	55.9	91.2	126.0	162.0	197.0	232.0	303.0	373.0	443.0
1 / 4	20.0	31.6	44.6	54.7	73.1	119.0	165.0	211.0	257.0	303.0	395.0	487.0	579.0
9/32	25.2	39.9	56.5	69.2	92.5	151.0	209.0	267.0	325.0	384.0	500.0	617.0	733.0
5/16	31.2	49.3	69.7	85.4	114.0	186.0	258.0	330.0	402.0	474.0	617.0	761.0	905.0
11/32	37.7	59.6	84.4	103.0	138.0	225.0	312.0	399.0	486.0	573.0	747.0	921.0	1095.0
3/8	44.9	71.0	100.0	123.0	164.0	268.0	371.0	475.0	578.0	682.0	889.0	1096.0	1303.0
13/32	52.7	83.3	118.0	144.0	193.0	314.0	436.0	557.0	679.0	800.0	1043.0	1286.0	1529.0
7/16	61.1	96.6	137.0	167.0	224.0	365.0	506.0	647.0	787.0	928.0	1210.0	1492.0	1774.0
15/32	70.2	111.0	157.0	192.0	257.0	419.0	580.0	742.0	904.0	1065.0	1389.0	1713.0	2037.0
1 / 2	79.8	126.0	179.0	219.0	292.0	476.0	660.0	844.0	1028.0	1212.0	1580.0	1949.0	2317.0

جدول (7-6) فقد المائع خلال الثقوب الصغيرة

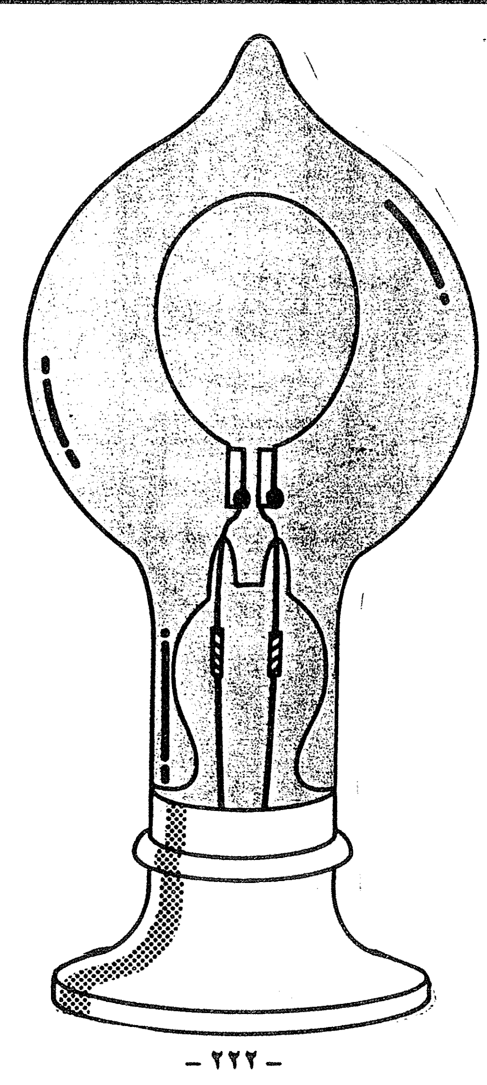
قطر الثقب Diameter of Hole	البخار (lb / hr) Steam - lb/ hour 100 psig	300 psig	المياه (gal / hr) Water -gals / hour 20 psig	100 psig	Air SCFM 80 psig
1/16"	14	33	20	45	4
1 / 8"	56	132	80	180	16
3 / 16"	126	297	180	405	36
1 / 4"	224	528	320	720	64

SCFM : standard cubic feet per minute



جدول (A – 7) الفقد الحرارى وفقد البخار عند تسرب بخار عند ضغط بخار 600 psig

قطر الثقب Hole diameter	فقد البخار Steam loss (Ib / h)	الفقد الحرارى Heat loss (Btu / h)
1/16	74	89,000
1/8	296	356,000
1 / 4	1183	1,420,000
3/8	2660	3,200,000
1/2	4730	5,690,000



جدول (8-A) فقد البخار عند 100 Psi بفرض أن كفاءة الغلاية % 80 تبعا لمقاس فتحة المصيدة

مقاس فتحة المصيدة (بوصة) Size of orifice (in)	فقد البخار شهريا (باوند) Steam wasted / month (Ib)
1 / 2	835000
7 / 16	637000
3 / 8	470000
5 / 16	325000
1 / 4	210000
3 / 16	117000
1 / 8	52500

Source:
Energy Management Handbook
Wayne C. Turner

جدول (9-A) معاملات انتقال الحرارة لمواسير صلب غير معزولة

بوحدة (Btu / hr - ft -°F) (°F الاختلاف بين درجة حرارة الماسورة والجو المحيط)

Btu/(hr) (linear ft) (°F difference between pipe and surrounding air)

درجة الحرارة داخل الماسورة Temp inside pipe	مياه ساخنة (Hot Water)				بخار (Steam)		
	120 °F	180 °F	120 °F	210 °F	227 °F (5 Psig)	300 °F (50 Psig)	338 °F (100 Psig)
Nominal pipe مقاس الماسورة (بوصة)	اختلاف درجة الحرارة (Temperature Difference)						
Size (in)	50 °F	80 °F	110 °F	140 °F	157 °F	230 °F	268 °F
1/2	0.46	0.50	0.50	0.55	0.58	0.61	0.76
3/4	0.56	0.61	0.61	0.67	0.72	0.75	0.93
1	0.68	0.74	0.74	0.82	0.88	0.92	1.15
11/4	0.85	0.92	0.92	1.01	1.09	1.14	1.43
11/2	0.96	1.04	1.04	1.15	1.23	1.29	1.63
2	1.18	1.28	1.28	1.41	1.51	1.58	1.99
21/2	1.40	1.53	1.53	1.68	1.80	1.88	2.36
3	1.68	1.83	1.83	2.01	2.15	2.26	2.84
31/2	1.90	2.06	2.06	2.22	2.43	2.55	3.22
4	2.12	2.30	2.30	2.53	2.72	2.85	3.59
5	2.58	2.80	2.80	3.08	3.30	3.47	4.39
6	3.04	3.29	3.29	3.63	3.89	4.07	5.16
8	3.88	4.22	4.22	4.64	4.96	5.21	6.61
10	4.76	5.18	5.18	5.68	6.09	6.41	8.12
12	5.59	6.07	6.67	6.67	7.15	7.50	9.53

- يستخدم هذا الجدول فقط للمواسير المستقيمة . في حالة وجود تجهيزات متعددة ، فيجب أن يؤخذ في الاعتبار عامل الأمان . هذا يؤدى إلى إضافة حرارة عند هذه التجهيزات اكبر من 10% عموما هذا الجدول ليس مضاف إليه هذا العامل.
- عند استخدام أي نوع من المواد العازلة تستخدم القيم بهذا الجدول مضروبة في عاملات تحويل المواد العازلة المذكورة بجدول (11-A)

جدول (10-A) معاملات انتقال الحرارة للمواسير المعزولة

(بوحدة Btu / hr - ft- °F) (°F الاختلاف بين درجة حرارة المواسير والجو المحيط)

Btu/(hr) (linear ft) (°F difference between pipe and ambient space)

ماسورة حديد Iron pipe	عزل ماغنسيوم 85%	85% Magnesia insulation	
Size (in) المقاس بوصة	1 in thick سمك 1 بوصة	1 ½ thick سمك ½ 1 بوصة	2 in thick بوصة2سمك
½	0.16	0.14	0.12
¾	0.18	0.15	0.13
1	0.20	0.17	0.15
1 ¼	0.24	0.20	0.17
1 ½	0.26	0.21	0.18
2	0.30	0.24	0.21
2 ½	0.35	0.27	0.24
3	0.40	0.32	0.27
3 ½	0.45	0.35	0.30
4	0.49	0.38	0.32
5	0.59	0.45	0.38
6	0.68	0.52	0.43
8	0.85	0.65	0.53
10	1.04	0.78	0.64
12	1.22	0.90	0.73

جدول (11-A) عاملات تحويل المواد العازلة

عاملات تغطية المواسير Pipe Covering Factors	المادة Materials
--	الاسبوستس [1] المتعرج Corrugated Asbestos (air cell)
1.36	4 دقائق / بوصة[2] (4 Ply Per inch)
1.23	6 دقائق / بوصة (6 Ply Per inch)
1.19	8 دقائق / بوصة (8 Ply Per inch)
0.98	اسبوستس شرائح (لباد إسفنجي) (Laminated Asbestos) (sponge felt)
1.00	الصوف المعدني[3] (Mineral wool)
1.36	سليكا دياتومى[4] Diatomaceous Silica
0.88	ألياف اسبوستس بنى (لباد خشب) Brown Asbestos Fiber (Wool Felt)

(1) الاسبوستس : (الحرير الصخري) معـدن لا يحترق ولا يوصل الحـرارة ويكـون على شكل خيوط تتخذ منها الأقمشة والأدوات غير القابلة للاحتراق.

(2) الرقيقة : طبقة من طبقات الخشب الرقائق أو الورق أو الكرتون

(3) الصوف المعدني : مادة عازلة للحرارة والصوت

(4) السيليكا : ثاني أكسيد السيليكون ، الدياتومى : مؤلف من دياتوم أو بقاياه المتحجرة (الدياتوم عبارة عن طحلب نهري أو بحري مجهري أحادى الخلية جدرانه مشبعة بالسيليكا)

جدول (12-A) الفقد الحراري للمواسير المعزولة

قطر الماسورة (بوصة) Pipe Dia. Inches	درجة حرارة السطح (°F) Surface Temp °F	سمك العزل (بوصة) Insulation Thickness Inches	الفقد الحراري (Btu / ft / hr) غير معزول معزول Heat Loss (BTU/Ft/Hr)		كفاءة العزل Insulation Efficiency
			Uninsulated	Insulated	
4	200	1 ½	300	70	76.7
	300	2	800	120	85.0
	400	2 ½	1500	150	90.0
6	200	1 ½	425	95	78.7
	300	2	1300	180	85.8
	400	2 ½	2000	195	90.25
8	200	1 ½	550	115	79.1
	300	2	1500	200	86.7
	400	2 ½	2750	250	91.0

جدول (13-A) الفقد الحراري من المواسير المكشوفة (غير المعزولة)

الفرق في درجات الحرارة بين البخار م°	مقاس الماسورة mm									
	15	20	25	32	40	50	65	80	100	150
	الفقد الحراري بالوات لكل متر طولي W/m									
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233	324
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296	410
78	83	100	122	149	166	203	241	298	360	500
89	99	120	146	179	205	246	289	346	434	601
100	116	140	169	208	234	285	337	400	501	696
111	134	164	198	241	271	334	392	469	598	816
125	159	191	233	285	321	394	464	555	698	969
139	184	224	272	333	373	458	540	622	815	1133
153	210	255	312	382	429	528	623	747	939	1305
167	241	292	357	437	489	602	713	838	1093	1492
180	274	329	408	494	556	676	808	959	1190	1660
194	309	372	461	566	634	758	909	1080	1303	1852

ملحوظة

درجة حرارة الجو المحيط من 10 إلى 90 م° في ظروف الهواء الساكن

جدول (A – 14) المقاسات الاسمية للمواسير ونصف القطر الخارجي المستخدم بنظم البخار

مقاس الماسورة الأسمى (بوصة) Nominal Pipe size (inches)	نصف القطر الخارجي (بوصة) Outside Radius (inches)	مقاس الماسورة الأسمى (بوصة) Nominal Pipe size (inches)	نصف القطر الخارجي (بوصة) Outside Radius (inches)
½	.420	7	3.813
¾	.525	8	4.313
1	.658	9	4.813
1-¼	.830	10	5.375
1-½	.950	11	5.875
2	1.188	12	6.375
2-½	1.438	14	7.000
3	1.750	16	8.000
3-½	2.000	18	9.000
4	2.250	20	10.000
4-½	2.500	24	12.000
5	2.781	30	15.000
6	3.313		

جدول (15-A) اقل سمك لعزل المواسير تبعا للاستخدام

نظام شبكة الأنابيب Piping system	حدود درجة الحرارة Temperature Range °F	سمك العزل Insulation Thickness Inches
التسخين (Heating)		
بخار ذو ضغط عالى (High pressure steam)	306 to 400	1.5 –2.0
بخار ذو ضغط متوسط (Medium pressure steam)	251 to 305	1.0-1.5
بخار ذو ضغط منخفض (Low pressure steam)	Up to 250	1.0
متكاثف (Condensate)	190 to 220	1.0
مياة ساخن (Hot water)	Up to 200	1.0
مياة ساخن (Hot water)	Over 200	1.0
التبريد (Cooling)		
مياة مبردة (Chilled water)	40 to 60	.75-1.0
مبرد (Refrigerant and Brine)	Below 32	1.0-1.5

ملحوظة :

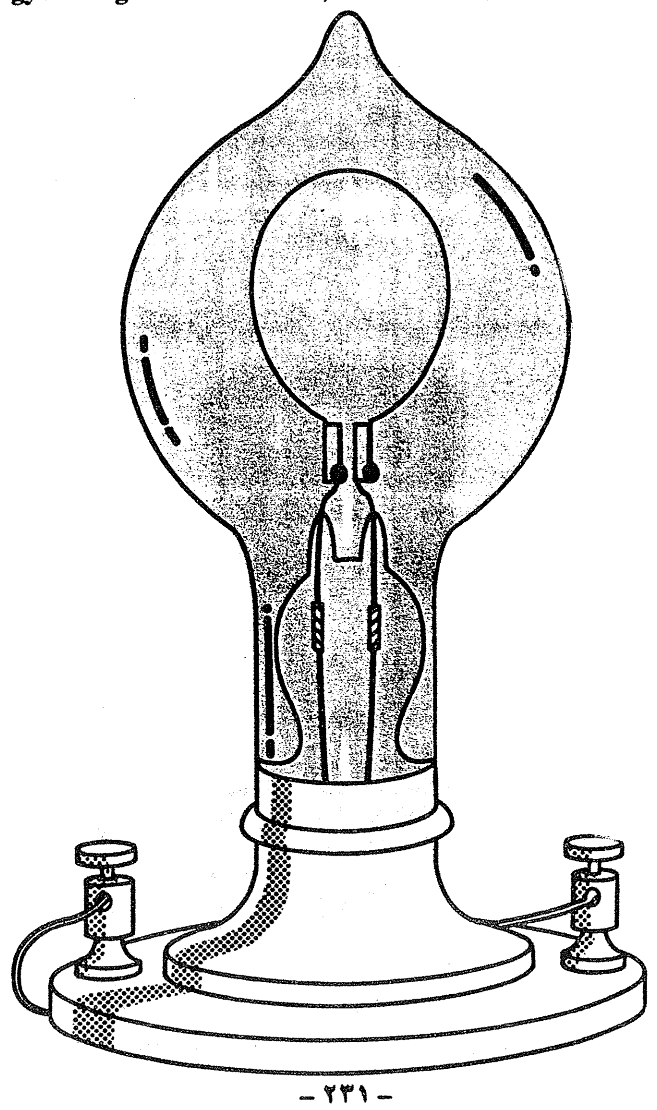
قبل تركيب العزل يجب التأكد من أن المواسير مدهونة بطبقة من الزنك أو السيليكون

جدول (16-A) الفقد الحراري من الأسطح المستوية

Heat loss from a flat surface ($Btu/hr - ft^2$) *

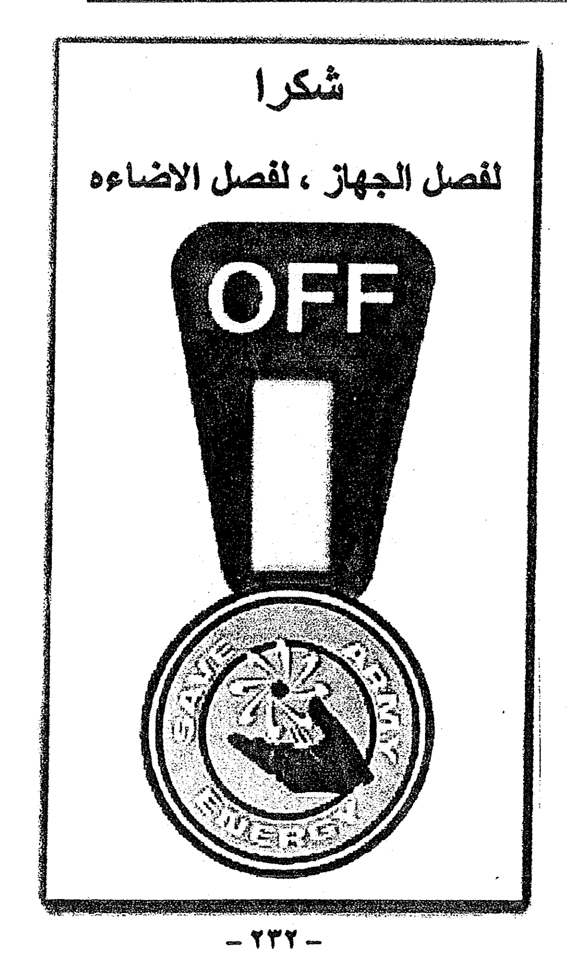
نوع السطح	Temperature Difference (°F) اختلاف درجة الحرارة					
	50	100	150	200	250	300
FLAT	98	215	360	533	738	972

***(ref.- Energy Management Handbook, W.C. Turner, editor**



جدول (17-A) الفقد الحراري من الأسطح المكشوفة

درجة حرارة المياه (Water Temp °F	الفقد الحراري (Heat loss W/ ft²)
80	40
100	80
120	155
140	270
160	445
180	700
200	1075



جدول (18-A) معدل بخر المياه

سرعة الهواء Air Velocity (fpm)	Temperature of exposed water (°F) درجة الحرارة المياه المعرضة				
	100	120	150	180	200
	Water Evaporated ($lb/ft^2 - hr$) معدل المياه المتبخر				
100	0.17	0.38	0.95	2.1	3.2
80	0.16	0.355	0.9	2.0	3.1
70	0.15	0.33	0.85	1.59	3
60	0.14	0.325	0.825	1.58	2.2
50	0.135	0.3125	0.8	1.575	2.1

Ref. Handbook of Data Sheets for Solution of Mechanical System Problems, R.W. Rouse, P.E.

جدول (19-A) جدول بيانات الهواء

درجة حرارة مأخذ الهواء (Temperature of intake air , °F)	حجم المأخذ المطلوب لتوريد 1000 قدم ^{3} من الهواء عند 70°F (Intake Volume Required to Deliver 1000 cu ft of free air at 70 °F)	نسبة الوفر فى HP أو الزيادة منسوبة الى درجة 70 °F للمأخذ (Percent HP savings or increase relative to 70 °F intake)
30	925	7. 5% savings
40	943	5.7% savings
50	962	3.8% savings
60	981	1.9% savings
70	1000	0
80	1020	1.9% savings
90	1040	3.8% savings
100	1060	5.7% savings
110	1080	7. 6% savings
120	1100	9.5% savings
قطر الثقب (بوصة) (Hole Diameter , in)	الهواء المفقود ، قدم^3 / السنة بواسطة تسريب الهواء عند : (*Free Air Wasted ,cu ft per year by a leak of air at :)	فقد الطاقة (**Energy loss, But / hr)
————	——— 100 Psig ———	————
3/8	79,900,000	1667
1/4	35,500,000	740
1/8	8,880,000	185
1/16	2,220,000	46
1/32	553,000	11.5
1/64	138,250	2.9
————	——— 70 Psig ———	————
3/8	59,100,000	1004
1/4	26,200,000	447
1/8	6,560,000	340
1/16	1,640,000	28
1/32	410,000	7
1/64	102,500	1.75

* Based on nozzle coefficient of 0.65   *على أساس أن كفاءة الفوهة 0.65

** Based on 100000 Btu of fuel / kwh   **على أساس 100000 Btu من الوقود / ك.و.س

Source : National Bureau of Standards Handbook #115

ملحق B

عاملات التحويل

- جدول (B – 1) عاملات تحويل الطاقة
- جدول (B – 2) عاملات تحويل الطاقة
- جدول (B – 3) عاملات تحويل : الوزن ،المساحة ، الحجم
- جدول (B – 4) عاملات تحويل الضغط والسريان
- جدول (B – 5) عاملات تحويل الشغل ، والقدرة
- جدول (B – 6) معادلات درجات الحرارة
- جدول (B – 7) عاملات الانتقال الحراري
- جدول (B – 8) عاملات الموصلية الحرارية
- جدول (B – 9) عاملات الحرارة النوعية
- جدول (B – 10) عاملات محتوى الحرارة والقيمة الحرارية
- جدول (B – 11) عاملات الكثافة
- جدول (B – 12) عاملات الكتلة

جدول (1 – B) عاملات تحويل الطاقة

وحدة الطاقة Energy unit	التحويل Convert	الطاقة المكافئة Energy equivalent
1 kwh	(kwh) to (MM Btu)	3413 Btu
1 HP (mech)	(HP) to (kw)	0.746 kw
1 HP (boiler)	(HP) to (kw)	9.81 kw
1 HP	(HP) to (Btu / hr)	2545 Btu / hr
1 Therm	(Therms) to (MM Btu)	100000 Btu
1 CCF Natural gas	(CCF) to (MM Btu)	100000 Btu
1 gallon # 2 oil	(#2 oil gal) to (MM Btu)	140000 Btu
1 gallon # 4 oil	(#4 oil gal) to (MM Btu)	144000 Btu
1 gallon # 6 oil	(#6 oil gal) to (MM Btu)	152000 Btu
1 gallon propane	(propane gal) to (MM Btu)	91600 Btu
1 ton coal	(Coal ton) to (MM Btu)	27800000 Btu
1 ton refrigeration	(Ton) to (MM Btu)	12000 Btu
1 Boiler HP	(HP boiler) to (MM Btu)	33475 Btu
1 gallon LP gas	(LP gal) to (MM Btu)	95000 Btu
1 gallon gasoline	(gasoline) to (MM Btu)	125000 Btu
1 barrel crude oil	(barrel oil) to (MM Btu)	5100000 Btu

جدول (B – 2) عاملات التحويل

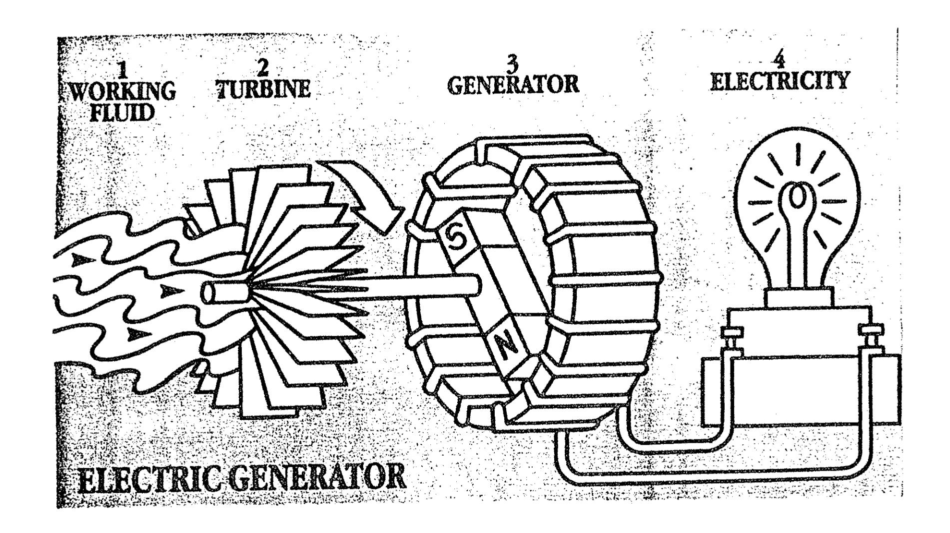
1 CCF natural gas	=	100 ft^3 natural gas
1 MCF natural gas	=	1000 ft^3 natural gas
1 CCF	=	100000 ft^3
1 M Btu	=	1000 Btu
1 MM Btu	=	10^6 Btu
1 Quad	=	10^{15} Btu
1 MW	=	10^6 watt
1 MBH	=	10^3 Btu / hr
1 Btu h	=	1 Btu / hr
Btu / Ibm	=	2.33 Kj / kg (enthalpy)

تغلب على الاستهلاك العالي



جدول (5 – B) عاملات تحويل الشغل والقدرة (Work and power)

1 hp = 0.745 kw = 42.4 Btu/ min. = 2544 Btu /hr =33.000 ft. Ib. min.
1 boiler hp (bnp) = 33.475 Btu / hr.
1 kw = 1000 watts (w) = 1.341 hp = 56.88 Btu / min.= 3413 Btu / hr.
1 kw hr = 1000 w hr . = 3413 Btu
1 Btu = 0.029 kw hr. = 778 ft. Ib. = 0.555 pcu (Ib. oC unit)



جدول (6 – B) معادلات درجات الحرارة (TEMPERATURE SCALES)

Kelvin temp . Scale	= °C +273.16
Rankine temp . Scale	= F + 459.7
°F	= [(T_f – 32)/ 1.8] °C
°C	= [(1.8 T_C) +32] °F

جدول (7 – B) عاملات الانتقال الحرارى (Heat transfer)

1 Btu / hr. ft^2. °F	= 0.0001355 g. cal. /sec . cm. 2 °C
1 g. cal . / sec. cm^2. °C	= 7380 Btu / hr . ft^2 .
1 Btu / ft^2 . h.° F	= 5.678 w/m^2 . °C
1 Btu / ft^2 . h	= 3.155 w / m^2

جدول (8 – B) عاملات الموصلية الحرارية (THERMAL CONDUCTIVITY)

1 Btu / hr . ft^2 .° F / ft .	= 0.00413 g . cal. / sec. cm^2. °C /cm
1 g. cal ./ sec. cm^2 . °C / cm	= 242 Btu / hr . ft^2 . ° F/ ft
1 Btu . in / ft^2 h . °C	= 0.1442 w/ m . °C

جدول (B – 9) الحرارة النوعية (Specilic heat)

Btu / Ib . °F	= 4.187	kJ/ kg . °C
Btu / ft^3 . °F	= 67.07	kj / m^3 . °C

جدول (B – 10) محتوى الحرارة والقيمة الحرارية (Calorific value , heat content)

Btu / Ib	= 2.326	kJ / kg
Btu / ft^3	= 37.26	kJ / m^3

جدول (B – 11) الكثافة (density)

Ib/ ft^3	= 16.02	kg / m^3
grains / ft^3	= 0.002288	kg / m^3

جدول (B -12) الكتلة (mass)

Ib	= 0.4536 kg
oz	= 28.35 g
Ib	= 7000 grains
grains	= 0.06480 g
Ton	= 2240 Ib

1 pound (1b)	= 16 ounces
	= 7000 grains
	= 454 grams
1 ounces (oz)	= 0.0625 pounds
	= 28.35 grams
1 grains (gr)	= 64.8 milligrams
	= 0.0021 ounce
1 gram (g)	= 1000 milligrams
	= 0.03527 ounce
	= 15.43 grains

References

[1] Guide to Energy Management
Barney L.Capehart
Wayne C.Turner
William J.Kennedy
2^{nd} ed. 1997

[2] Handbook of Energy Engineering
Fifth Edition
By Albert Thumann & D.Paul Mehta, 2001

[3] Handbook of Energy Audits
Fifth Edition
Albert Thumann, P.E. , C.E.M. 1998

[4] Simple Solutions To Energy Calculations
2^{nd} Edition
Richard R.Vaillencourt, P.E. 1997

[5] Energy Management Handbook
2^{nd} Edition
Wayne C.Turner, PHD, P.E. C.E.M

[6] Boiler Efficiency Improvement
Boiler Efficiency Institute
By : David F.Dyer Glennon Maples
Third Edition 1981

[7] Steam Efficiency Improvement
Boiler Efficiency Institute
By : David F.Dyer Glennon Maples, Timothy Maxwell 1981

[8] Combustion Efficiency Tables
Harry R.Taplin, Jr., P.E. C.E.M. 1991

[9] Education Program
Boiler Optimization, cource updated
aee
Harry Taplin, P.E

[10] Energy Management For Companies
Energy Conservation and Efficiency program (ECEP)
Is sponsored by USAID Project No. 263-0140 1991

[11] High Efficiency Lighting
Energy Conservation and Efficiency program (ECEP)
Is sponsored by USAID Project No. 263-0140 1990

[12] Demand Side Management
Energy Conservation and Efficiency program (ECEP)
Is sponsored by USAID Project No. 263-0140 1994

[13] Energy Management Systems
Energy Conservation and Efficiency program (ECEP)
Is sponsored by USAID Project No. 263-0140 1991

[14] http:// www.oit.doe.gov/bestpractices/technical – publications.shtml
[15] http:// www.eren.doe/buildings/comm-saving.html
[16] http:// www.ase.org/programs/industrial/steam.html
[17] http:// www.eweb.org/energy/energysmart/edb/9906/electric - demand.html
[18] http:// www.vms.ecs.umass.du/-dcheney/index.html
[19] http:// www.energy.ca.gov/html
[20] http:// www.afce.org/bottom.html
[21] http:// energuide.nrcan.gc.ca/html
[22] http:// energy-publications-nrcan.gc.ca/list.cfm
[23] http:// hvac.nrcan.gc.ca/htm
[24] http:// www.energy.ca.gov/glossary/index.html

[25] تحسين كفاءة الاحتراق
مشروع ترشيد الطاقة وحماية البيئة (ECEP)
بتمويل من الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية (USAID)
مشروع رقم 263-0140 1995

[26] كفاءة استخدام الطاقة في نظم البخار
مشروع ترشيد الطاقة وحماية البيئة (ECEP)
بتمويل من الوكالة الأمريكية للتنمية الدولية (USAID)
مشروع رقم 263-0140 1995

للمؤلفة:

١ - المكثفات وتحسين معامل القدرة

٢- المحولات الكهربائية - الجزء الأول

٣- المحولات الكهربائية - الجزء الثاني

٤- الوقاية في الشبكات الكهربائية - الجزء الأول

٥- التوافقيات في الشبكات الكهربائية

٦- جودة التغذية الكهربائية

٧- الإضاءة وتوفير الطاقة

٨- الوقاية في الشبكات الكهربائية - الجزء الثاني

٩- إدارة طلب الطاقة - الجزء الأول

١٠-البيئة وغازات الاحتباس الحراري

١١-إدارة طلب الطاقة - الجزء الثاني

١٢-اضطرابات جودة التغذية الكهربائية

١٣-إرشادات لوسائل التوعية لترشيد استخدام الطاقة

رقم الإيداع بدار الكتب المصرية
٥٢٠٠ / ٢٠٠٣

دار الجامعيين
لطباعة الأوفست
٣٧ شارع السلطان عبد العزيز – الأزاريطة
ت ٤٨٦٢٠٠٤